



(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Aktenzeichen: **20 2010 018 460.6**
 (22) Anmeldetag: **11.11.2010**
 (67) aus Patentanmeldung: **EP 10 83 0697.8**
 (47) Eintragungstag: **07.11.2016**
 (45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **15.12.2016**

(51) Int Cl.: **G06Q 10/04 (2012.01)**

(30) Unionspriorität:
260342 P **11.11.2009** **US**
752980 **01.04.2010** **US**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
Betten & Resch Patent- und Rechtsanwälte
PartGmbH, 80333 München, DE

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
GOOGLE INC., Mountain View, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Transit-Routingsystem zur Fahrtenplanung mit öffentlichen Verkehrsmitteln**

(57) Hauptanspruch: Computerprogrammprodukt, das ein computerlesbares Speichermedium umfasst, das einen computerausführbaren Code zum Berechnen von optimalen öffentlichen Verkehrsmittelwechsellustern zwischen Transitstationen umfasst, wobei der Code, wenn er durch einen Computerprozessor ausgeführt wird, die folgenden Schritte umfasst:

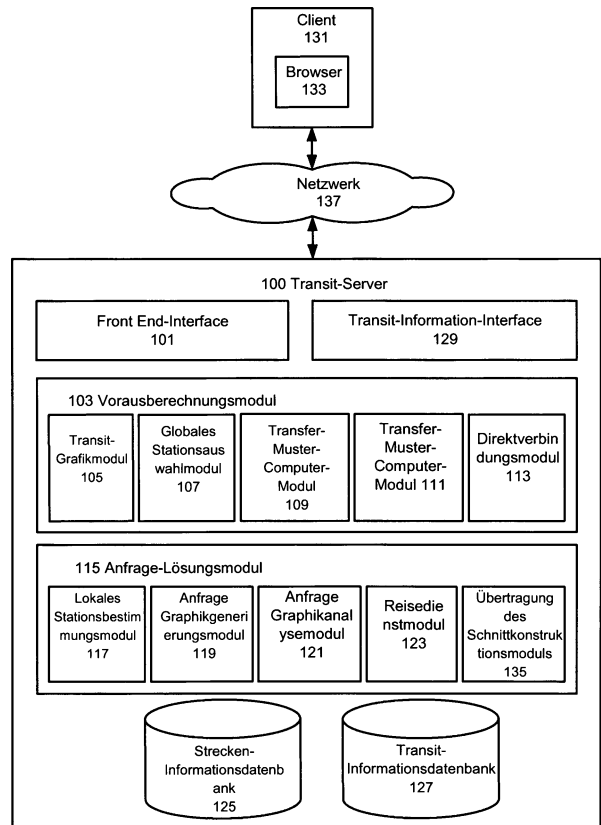
für jede gespeicherte öffentliche Verkehrsfahrt, die eine Quellenstation und eine Zielstation beschreibt, Abrufen einer gespeicherten Transitroute, die einen Fahrplan von einem oder mehreren Halten an Transitstationen durch ein Transitfahrzeug während der öffentlichen Verkehrsfahrt von der Quellenstation zur Zielstation beschreibt;

Erzeugen eines Transitgraphen durch Darstellen der abgerufenen Route von jeder gespeicherten öffentlichen Verkehrsfahrt als eine Folge einer Mehrzahl von Knoten, die durch Bögen miteinander verbunden sind, wobei jeder Knoten im Transitgraphen ein Ereignis darstellt, das an einer Transitstation eintritt, das durch ein Fahrzeug erzeugt wurde, das mit der Transitfahrt verbunden ist;

für jedes Paar von Transitstationen, die im Transitgraphen dargestellt sind:

Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechsellustern, das eine optimale Transitroute von einem oder mehreren Wechsellustern an Transitstationen zwischen dem Paar von Stationen beschreibt, die im Transitgraphen dargestellt sind; und

Speichern des mindestens einen optimalen Wechsellusters für jedes Paar von Transitstationen.



Beschreibung

Querverweis auf zugehörige Anmeldungen

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen U.S.-Anmeldung Nr. 61/260,342, angemeldet am 11. November 2009, die hierbei durch Bezugnahme hierin integriert ist.

Technisches Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft Fahrtenplanung in öffentlichen Verkehrsmitteln und insbesondere das Minimieren von Berechnungszeit und Ressourcen, die zum Bereitstellen von Anweisungen für öffentliche Verkehrsmittel notwendig sind, durch Verwendung von vorverarbeiteten Transitinformationen. Unter Schutz gestellt werden und Gegenstand des Gebrauchsmusters sind dabei, entsprechend den Vorschriften des Gebrauchsmustergesetzes, lediglich Vorrichtungen wie in den beigefügten Schutzansprüchen definiert, jedoch keine Verfahren. Soweit nachfolgend in der Beschreibung gegebenenfalls auf Verfahren Bezug genommen wird, dienen diese Bezugnahmen lediglich der beispielhaften Erläuterung der in den beigefügten Schutzansprüchen unter Schutz gestellten Vorrichtung oder Vorrichtungen.

Allgemeiner Stand der Technik

[0003] Mit der Verbesserung der Infrastruktur öffentlicher Verkehrsmittel, einem erhöhten Umweltbewusstsein und den steigenden Kosten für Kraftstoff haben viele Menschen begonnen, unterschiedliche Formen von öffentlichen Verkehrsmitteln zu nutzen. Anstatt ihre eigenen Fahrzeuge zu verwenden, haben die Menschen zunehmend Schienenverkehr, Busse und/oder Fähren für ihre Reisebedürfnisse verwendet. Aufgrund dieser Erhöhung bei der Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln wurden Planungssysteme für öffentlichen Verkehr entwickelt. Diese Systeme stellen Benutzern Anweisungen zum Reisen von einem Startort zu einem Zielort über unterschiedliche Formen von öffentlichen Verkehrsmitteln bereit.

[0004] Typischerweise wird bei diesen Systemen eine Anfrage mit einem Startstandort und einem Zielstandort empfangen, und die Transitplanungssysteme stellen Schritt-für-Schritt-Anweisungen zum Erreichen des Zielorts unter Verwendung von einer oder mehreren Formen von öffentlichen Verkehrsmitteln bereit. Beispielsweise können die Anweisungen eine Folge davon beinhalten, welche öffentlichen Verkehrsfahrzeuge (z. B. Busse, Bahnen usw.) verwendet werden, und welche Halte an öffentlichen Verkehrsstandorten notwendig sind, um den Zielort der Fahrt zu erreichen. Die Anweisungen können einen Transfer zu einem anderen Transitfahrzeug beinhalten, der an den unterschiedlichen Transitstandorten im Verlauf der Fahrt erforderlich ist. Daher stellen die Planungssysteme einen Mechanismus bereit, der Informationen für Menschen bereitstellt, um ihre Fahrten unter Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln einfach zu planen.

[0005] Typischerweise analysieren diese herkömmlichen Transitplanungssysteme zum Bestimmen der Anweisungen für eine Fahrt zur Anfragezeit unterschiedliche Routen zwischen den Start- und Zielstandorten der Fahrt, um den optimalen Weg zum Erreichen des Zielorts zu bestimmen. Dieser Ansatz ist nützlich, wenn es eine relativ kleine Anzahl von potenziellen Routen zwischen den Standorten aufgrund einer begrenzten Anzahl von verfügbaren Transitoptionen gibt. Aufgrund der Erweiterung der Infrastruktur der öffentlichen Verkehrsmittel und der Fähigkeit zum Wechsel zwischen unterschiedlichen Transportsystemen (z. B. Wechsel zwischen einer Bahn und Bus in einer gemeinsamen Station), wuchs die Anzahl von möglichen Routen zwischen jedem gegebenen Startstandort und Zielstandort bedeutend. Daher hat sich auch die Zeit, die während der Anfragezeit zum Berechnen des optimalen Wegs zum Erreichen eines Ziels benötigt wird, ebenfalls dramatisch erhöht, wodurch sich die Zeit erhöht, die Benutzer abwarten müssen, um Ergebnisse zu erhalten.

Kurzdarstellung der Erfindung

[0006] Ein öffentliches Verkehrsreiseplanungssystem und -verfahren wird bereitgestellt, beim vorverarbeitete Transitinformationen vor der Anfragezeit verwendet werden, um optimale öffentliche Verkehrsrouten als Reaktion auf eine Anfrage nach einer Reise oder einer Fahrt unter Verwendung des öffentlichen Verkehrs zu bestimmen. Die optimalen öffentlichen Verkehrsrouten beschreiben die besten Routen für eine Fahrt im Verhältnis zu Zeit und anderen Faktoren unter Verwendung von ausschließlich öffentlichen Verkehrsmitteln und/oder Gehen, um einen Zielstandort von einem gegebenen Startpunkt zu erreichen. Das öffentliche Verkehrsreiseplanungssystem verarbeitet Transitinformationen (die grundlegende öffentliche Verkehrsfahrpläne beschreiben) vor der Anfragezeit, um optimale Wechselsmuster zu bestimmen, die Routen zwischen zwei beliebigen Transitstationen beschreiben. Genauer ausgedrückt beschreibt ein Wechselsmuster eine Folge von

Transitfahrzeugwechseln von einer oder mehreren Transitstationen, die getätigt werden müssen, um einen Zielort zu erreichen. Durch Vorverarbeiten der Transitinformationen zum Bestimmen der Wechselmuster vor der Anfragezeit wird eine minimale Menge von Berechnung bei der Anfragezeit benötigt, um eine Benutzeranfrage nach einer öffentlichen Verkehrsrouten zu erfüllen. Im Allgemeinen führt das System Vor- und Nach-Anfrageberechnungen aus, um Benutzern öffentliche Verkehrsrouten bereitzustellen.

[0007] Vor der Anfragezeit berechnet das System die optimalen Wechselmuster von öffentlichen Verkehrsmitteln zwischen bekannten Transitstationen unter Verwendung von Transitinformationen, die von unterschiedlichen Transitstellen erhalten wurden. Jede gespeicherte Transittour, die durch die Transitinformationen beschrieben ist, beinhaltet eine Quellenstation und eine Zielstation. Ein Plan von einer oder mehreren Haltestellen (d. h. eine Route) an Transitstationen durch ein Transitfahrzeug, wird von jeder gespeicherten Tour abgerufen. Es wird ein Transitgraph erzeugt, der die Route von jeder gespeicherten Tour als eine durch Bögen verbundene Reihe von Knoten darstellt. Jeder Knoten im Transitgraph stellt ein Ereignis dar, das an einer Transitstation eintritt, die von einem Transitfahrzeug angefahren wird, das mit der Tour verbunden ist. Beispiele des Ereignisses beinhalten, dass das Transitfahrzeug in der Transitstation ankommt oder von dort abfährt. Für jedes Paar von Transitstationen, das im Transitgraphen dargestellt ist, wird ein optimales Wechselmuster berechnet, das die beste Transittour in Bezug auf die Anzahl von Wechseln, Dauer der Tour und/oder anderen Faktoren beschreibt. Wie zuvor erwähnt, beschreibt das optimale Wechselmuster einen oder mehrere Wechsel entlang Transitstationen zwischen dem Paar von Stationen im Graphen. Jedes optimale Wechselmuster für jedes Paar von Transitstationen wird zur späteren Verwendung während der Anfragezeit gespeichert.

[0008] Sobald eine Anfrage empfangen wird, verwendet das System die gespeicherten optimalen Wechselmuster zum Bestimmen einer öffentlichen Transittour zwischen einem gegebenen Startstandort und einem Zielstandort, der in der Anfrage enthalten ist. Nach dem Empfangen der Anfrage bestimmt das System die Transitstationen innerhalb einer radialen Distanz vom Startstandort, um eine Quellenstationsliste zu erzeugen, die die Stationen in der Nähe des Startstandorts beschreibt. Das System bestimmt auf ähnliche Weise Transitstationen innerhalb einer radialen Distanz vom Zielstandort, um eine Zielstationsliste zu erzeugen, die die Stationen in der Nähe des Zielstandorts beschreibt. Für jede paarweise Kombination von Transitstationen, die eine Quellenstation von der Quellenstationsliste beschreibt, und eine Zielstation von der Zielstationsliste, wird ein gespeichertes Wechselmuster abgerufen, das Transitfahrzeugwechsel an Zwischenstationen zwischen der Quellenstation und der Zielstation beschreibt. Da die Wechselmuster bereits vor der Anfragezeit berechnet wurden, muss das System nur die Wechselmuster abrufen. Das System bestimmt dann mindestens eine optimale Route von der Quellenstation zur Zielstation basierend auf den abgerufenen Wechselmustern. Die optimale Route wird dann zum Client-Gerät des Benutzers übertragen, der die Anfrage einreichte.

[0009] Die in dieser Zusammenfassung beschriebenen Merkmale und Vorteile und die folgende detaillierte Beschreibung sind nicht allumfassend. Den Fachleuten werden anhand der Zeichnungen, Beschreibung und der Ansprüche hiervon viele weitere Leistungsmerkmale und Vorteile ersichtlich sein.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0010] Fig. 1 ist ein hochrangiges Blockdiagramm einer Computerumgebung gemäß einer Ausführungsform.

[0011] Fig. 2 ist ein Prozessablaufdiagramm von Stufen eines Vorberechnungsprozesses von öffentlichen Umwandlungsinformationen vor Anfragezeit gemäß einer Ausführungsform.

[0012] Fig. 3 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Erzeugen eines Transitgraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0013] Fig. 4 veranschaulicht einen exemplarischen Transitgraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0014] Fig. 5A–Fig. 5B sind Prozessablaufdiagramme zum Bestimmen globaler Stationen gemäß einer Ausführungsform.

[0015] Fig. 6 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Bestimmen Direktverbindungen gemäß einer Ausführungsform.

[0016] Fig. 7 veranschaulicht ein Beispiel einer Direktverbindungsreise gemäß einer Ausführungsform.

[0017] Fig. 8 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Berechnen von Wechselmustern ohne Verwendung von Globalstationen gemäß einer Ausführungsform.

[0018] Fig. 9 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Berechnen von Wechselmustern mit Verwendung von Globalstationen gemäß einer Ausführungsform.

[0019] Fig. 10A–Fig. 10F veranschaulichen Prozessablaufdiagramme zum heuristischen Berechnen von Wechselmustern mit Verwendung von Globalstationen gemäß einer Ausführungsform.

[0020] Fig. 11 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Komprimieren von Wechselmustern gemäß einer Ausführungsform.

[0021] Fig. 12 ist ein Prozessablaufdiagramm von Stufen, die zur Anfragezeit zum Erfüllen einer Benutzeranfrage gemäß einer Ausführungsform ausgeführt werden.

[0022] Fig. 13 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Bestimmen von Stationen in der Nähe von einem Quellenstandort und einem Zielstandort gemäß einer Ausführungsform.

[0023] Fig. 14 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Erzeugen eines Anfragegraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0024] Fig. 15 veranschaulicht ein Beispiel eines Anfragegraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0025] Fig. 16 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Erweitern eines Anfragegraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0026] Fig. 17 veranschaulicht ein Beispiel eines erweiterten Anfragegraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0027] Fig. 18 ist ein Prozessablaufdiagramm zum Bestimmen optimaler Fahrten vom erweiterten Anfragegraphen gemäß einer Ausführungsform.

[0028] Fig. 19 veranschaulicht eine exemplarische Benutzerschnittstelle, die optimale Fahrten gemäß einer Ausführungsform beinhaltet.

[0029] Die Figuren bilden nur zum Zwecke der Veranschaulichung eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ab. Fachleute werden anhand der nachfolgenden Diskussion leicht erkennen, dass alternative Ausführungsformen der hierin dargestellten Strukturen und Methoden verwendet werden können, ohne von den Prinzipien der hierin dargestellten Erfindung abzuweichen.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung

I. Systemüberblick

[0030] Ein öffentliches Transitreiseplanungssystem und -methodologie wird bereitgestellt, bei der eine umfassende Vorverarbeitung von Transitinformationen vor der Anfragezeit verwendet wird, um optimale öffentliche Transitrouten für Reisen zu bestimmen. Eine optimale öffentliche Transitroute ist die beste Route in Berg auf Zeit und/oder andere Faktoren, die zum Erreichen eines Zielstandorts von einem Startstandort verwendet werden können. Eine öffentliche Transitroute umfasst Anweisungen von einem Startstandort zu einem Zielstandort nur unter Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln (obwohl mehrere unterschiedliche Arten von öffentlichen Verkehrsmitteln auf einer einzelnen Route verwendet werden könnten), und können Gehen beinhalten. Die Route beschreibt, welche Transitstationen für die Reise zu verwenden sind, sowie alle Wechsel zu einem oder mehreren Transitzugfahrzeugen (einschließlich Wechsel zwischen unterschiedlichen Arten von öffentlichen Verkehrsfahrzeugen, die durchgeführt werden müssen, um den Zielstandort zu erreichen).

[0031] Das Transitreiseplanungssystem empfängt Transitinformationen von Transitstellen, die öffentliche Verkehrsmittel, wie z. B. Bus- oder Bahnlinien, bereitstellen. Die Transitinformationen beschreiben Fahrten zwischen unterschiedlichen Standorten unter Verwendung von einer oder mehreren Formen von öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Transitinformationen können Fahrplaninformationen für öffentliche Verkehrsfahrten beschreiben, die eine Auflistung der Zeiten beschreiben, an denen öffentliche Verkehrsfahrzeuge an Stationen ankommen und/oder davon abfahren, die mit den Fahrten verbunden sind. Vor der Anfragezeit verarbeitet das

Transitreiseplanungssystem die Transitinformationen, um optimale Wechselmuster zu bestimmen, die Routen zwischen beliebigen zwei Transitstationen beschreiben. Die Wechselmuster beschreiben, wo Transitfahrzeugwechsel auf jeder Reise durchgeführt werden. Daher bestimmt das Transitreiseplanungssystem die bestmögliche Route für jedes gegebene Paar von Stationen vor der Anfragezeit.

[0032] Zum Bestimmen der optimalen Wechselmuster erzeugt das Transitreiseplanungssystem einen Transitgraphen und seine verbundenen Transittabellen, die Informationen des Transitgraphen in Tabellenform darstellen. Der Transitgraph ist eine Darstellung möglicher Fahrten, die durch die Transitinformationen von den Transitstellen für ein Fenster von Tagen, wie z. B. eine Woche oder ein Monat, spezifiziert werden. Im Allgemeinen umfasst der Transitgraph für jede bekannte Fahrt eine Reihe von Knoten, die durch gerichtete Bögen verbunden ist, wobei jeder Knoten ein Ereignis an einer Station darstellt, wie z. B. ein öffentliches Verkehrsfahrzeug, das zu einer bestimmten Zeit an einer Station ankommt oder davon abfährt. Ein Paar von Knoten ist über einen gerichteten Bogen verbunden, der ein öffentliches Verkehrsfahrzeug darstellt, das von einer ersten Station (Quellenknoten) zu einer zweiten Station (Zielknoten) im Paar fährt.

[0033] Zum Darstellen einer Fahrt im Transitgraphen ruft das Transitreiseplanungssystem Transitinformationen für die Fahrt ab, die an einer ersten Station beginnt und an einer zweiten Station auf der Fahrt endet. Die Transitinformationen umfassen aktuelle Zeit- und Standortinformationen (z. B. Fahrplan) für öffentliche Verkehrsfahrzeuge an Transitstationen. Das Transitreiseplanungssystem konstruiert den Transitgraphen basierend auf den Transitinformationen, die mit der Fahrt verbunden sind. Für jede Ankunft und/oder Abfahrt eines Transitfahrzeugs an einer Station fügt das Transitreiseplanungssystem einen Knoten in den Transitgraphen ein, der das Ereignis an der Station zu einem bestimmten Zeitpunkt repräsentiert.

[0034] Das Transitreiseplanungssystem verbindet Knoten unter Verwendung gerichteter Bögen, die die Route der Fahrt beschreiben. Jeder Bogen wird dann mit einem Kostenpunkt verbunden, um den Zielknoten vom Quellenknoten zu erreichen. Das Transitreiseplanungssystem verwendet die Transitinformationen, die mit der Fahrt verbunden sind, um die Kosten für jeden Bogen zu bestimmen. Das Transitreiseplanungssystem wiederholt den oben beschriebenen Prozess für jede Fahrt, bei der Transitinformationen empfangen wurden, bis der Transitgraph für jeden Tag innerhalb des Fensters von Tagen konstruiert ist, die durch den Transitgraphen dargestellt sind.

[0035] Nach der Konstruktion des Transitgraphen erzeugt das Transitreiseplanungssystem eine Reihe von Transittabellen basierend auf dem Transitgraphen. Die Transittabellen beinhalten Informationen, die jeden Knoten und Bogen im Transitgraphen beschreiben, Tage innerhalb eines Fensters von Tagen, wenn jede Fahrt im Transitgraphen gültig ist, und den geografischen Standort von Stationen. Die Transittabellen sind im wesentlichen eine tabellarische Darstellung des Transitgraphen. In einer Ausführungsform werden die Transittabellen von den Transitinformationen erzeugt, anstatt dass der Transitgraph erzeugt wird.

[0036] Unter Verwendung des Transitgraphen und der Transittabellen bestimmt das Transitreiseplanungssystem alle Fahrten mit Direktverbindung. Eine Direktverbindungsfahrt ist eine Fahrt von einer Quellenstation zu einer Zielstation ohne Wechsel. Obwohl einer oder mehrere Halte während der Fahrt durchgeführt werden können, sind die Quellenstation und Zielstation immer noch direkt verbunden, da keine Wechsel erfolgen müssen, um die Zielstation zu erreichen. Weiterhin bestimmt das Transitreiseplanungssystem, welche Stationen im Transitgraphen als eine globale Station angesehen werden können. Globale Stationen sind Stationen, an denen ein Transitfahrzeugwechsel oftmals während Fahrten erfolgt, die sich über große Entfernungen erstrecken. Die Informationen über die Direktverbindung und Informationen über die Globalstation werden dann gespeichert. Beispielsweise können die Informationen über die Direktverbindung und Informationen über die Globalstation in Tabellenform gespeichert werden.

[0037] Unter Verwendung des Transitgraphen und der Tabellen für Direktverbindungen bestimmt das Reiseplanungssystem optimale Wechselmuster, die Routen zum Erreichen von jeder Zielstation (d. h. Zielort) im Transitgraphen von jeder gegebenen Quellenstation mit minimalen Kosten beschreiben. In einer Ausführungsform ist ein Wechselmuster eine Folge von Wechseln entlang einer öffentlichen Verkehrsroute an unterschiedlichen öffentlichen Verkehrsstationen (hierin als „Stationen“ bezeichnet), an denen ein Benutzer ein öffentliches Verkehrsmittel verlässt (d. h. „aussteigt“) und ein anderes öffentliches Verkehrsmittel besteigt (d. h. in dasselbe wechselt); wobei vorzugsweise ein Wechselmuster in Bezug auf eine Kostenfunktion optimiert wird, die die Reisezeitdauer zwischen Stationen, Wartezeit und andere Kostenfaktoren berücksichtigt. Im Allgemeinen beinhaltet das Wechselmuster einer Reise die Start- und Zielstationen zusammen mit Stationen, an denen Transitfahrzeugwechsel erfolgen. Nehmen wir beispielsweise eine Quellenstation A und eine Zielstation F an, an denen Wechsel an Stationen D und E eintreten. In diesem Beispiel ist das Wechselmuster ADEF. In einer

Ausführungsform beschreibt ein Wechselsmuster die Folge von Stationen ohne Bezug zu besonderen Zeiten, für die Stationswechsel, und ist somit ein Muster, das in Bezug auf mehrere unterschiedliche Startzeiten instanziiert werden kann, anstatt nur auf eine vorberechnete Fahrt zu einer bestimmten Tageszeit.

[0038] Im Allgemeinen verwendet das Transitreiseplanungssystem unterschiedliche Methodologien zum Bestimmen optimaler Wechselsmuster. Die Methodologien können das Konzept von globalen Stationen verwenden oder nicht, oder können einen heuristischen Ansatz zum Bestimmen der Wechselsmuster verwenden. Ungeachtet der verwendeten Methodologie verwendet das Transitreiseplanungssystem einen Graphsuchalgorithmus, wie z. B. Dijkstra-Algorithmus, um den besten Weg hinsichtlich Kosten zu bestimmen, um eine Zielstation von einer gegebenen Quellenstation zu erreichen. Daher hat das Transitreiseplanungssystem eines oder mehrere Wechselsmuster für jede paarweise Kombination von Quellenstation und Zielstation im Transitgraphen oder keine Wechselsmuster zum Ergebnis, wenn keine Route austritt.

[0039] Die Wechselsmuster werden zur späteren Verwendung bei der Anfrageverarbeitungszeit gespeichert. In einer Ausführungsform wird jedes Wechselsmuster einzeln und in vollständiger Form gespeichert. Alternativ komprimiert das Transitreiseplanungssystem die Wechselsmuster, anstatt jedes Wechselsmuster vollständig zu speichern. Die Informationen, die in einem Wechselsmuster enthalten sind, werden im Wesentlichen in kleinere Teile aufgeteilt, die aufgrund der Redundanz der im Wechselsmuster beinhalteten Informationen komprimiert werden können. Sobald die Wechselsmuster komprimiert sind, speichert das Transitreiseplanungssystem die komprimierten Wechselsmuster.

[0040] Bei Anfrageverarbeitungszeit werden die gespeicherten Wechselsmuster zum Erzeugen von Transitrouten als Reaktion auf Benutzeranfragen nach Anweisungen von einem Quellenstandort zu einem Zielstandort verwendet. Im Allgemeinen stellt ein Benutzer eine Anfrage nach Anweisungen für eine Reise bereit, d. h. von einem Quellenstandort, beim es sich um den aktuellen Standort des Benutzers handeln kann, oder einem Standort von Interesse für einen Zielort. Der Quellenstandort und Zielort können jeweils mit einer Quellenstation und einer Zielstation verbunden sein, anstatt mit dem aktuellen Standort des Benutzers und dem Standort von Interesse. Die Anfrage kann auch ein Datum und/oder eine Zeit verbunden mit einem Abfahrts- oder Ankunftsereignis beinhalten. Das Transitreiseplanungssystem bestimmt dann die Transitstationen, die sich in der Nähe des Quellenstandorts und des Zielorts befinden. Daher können die Transitstationen in der Nähe der Quelle und des Ziels gepaart werden, um unterschiedliche Quellenstandort- und Zielortpaare auszubilden. Die Wechselsmuster werden für jedes Paar von Stationen von den gespeicherten Wechselsmusterinformationen bestimmt, die zuvor vorberechnet wurden. Im Allgemeinen ruft das Transitplanungssystem die gespeicherten Wechselsmuster ab, die mit den Paaren von Stationen verbunden sind.

[0041] Mit den Wechselsmustern erzeugt das Transitplanungssystem einen Anfragegraphen. Der Anfragegraph wird zum Bestimmen der optimalen Route vom Quellenstandort zum Zielort verwendet. Der Anfragegraph beinhaltet nur Transitinformationen, die mit der Anfrage verbunden sind. Jede Station in einem Wechselsmuster wird als ein Knoten im Anfragegraphen dargestellt, und Paare von Knoten werden durch gerichtete Bögen ähnlich dem Transitgraphen verbunden. Sobald der Anfragegraph erzeugt ist, bestimmt das Transitplanungssystem Direktverbindungen zwischen Stationen im Anfragegraphen unter Verwendung der gespeicherten Transitinformationen über Direktverbindungen, was eine Vielzahl von Fahrten mit Direktverbindungen zwischen Stationspaaren in den Wechselsmustern zum Ergebnis hat.

[0042] Das Bestimmen der Direktverbindung wird vom Datum und/oder der Zeit beherrscht, die in der Suchanfrage empfangen wird. Das heißt, wenn die Suche eine Abfahrtszeit an einem bestimmten Tag beinhaltete, werden nur Direktverbindungen am spezifizierten Tag, die einige Zeit nach der bereitgestellten Abfahrtszeit abfahren, abgerufen. Auf ähnliche Weise werden nur Direktverbindungen bestimmt, die vor der Ankunftszeit ankommen, wenn eine Ankunftszeit spezifiziert wird. Sobald die Fahrten mit Direktverbindung bestimmt sind, bestimmt das Transitreiseplanungssystem die optimalen Fahrten, indem es eine Berechnung basierend auf den Kosten der Fahrten mit Direktverbindung durchführt. Die Berechnung hat eine Mehrzahl von Fahrten zum Ergebnis, die optimal auf unterschiedlichen Faktoren, wie z. B. Zeit oder Transittfahrzeugdiversität, basieren. Die optimalen Fahrten werden dann dem Benutzer bereitgestellt, um die Suchanfrage zu erfüllen.

[0043] Daher wird zur Anfragezeit sehr wenig Berechnung benötigt, um die Anfrage zu erfüllen, da die Transitinformationen bereits durch das Transitreiseplanungssystem verarbeitet wurden. Beispielsweise kann eine Anfrage, die die Fahrt mit der besten Direktverbindung von San José, Ca, nach San Francisco, CA, anfragt, als eine relativ schnelle und kostengünstige Suche nach den vorverarbeiteten Transitinformationen verarbeitet werden, um eine gespeicherte Direktverbindung von San José nach San Francisco abzurufen. Als ein weiteres Beispiel kann die Anfrage über zwei Direktverbindungsanfragen über die vorverarbeiteten Transitinforma-

tionen erfüllt werden, wenn eine Anfrage eine Fahrt von Mugello, Italien nach Assen, Niederlande mit einem Wechsel in Donnington Park, Großbritannien, anfragt, da ein optimales Wechselsmuster bereits vor der Anfragezeit berechnet und gespeichert wurde. Das Transitreiseplanungssystem führt zwei Suchen durch, um die Direktverbindung von Mugello in die Niederlande und von den Niederlanden nach Donnington Park abzurufen. Daher stellt das Transitreiseplanungssystem der vorliegenden Erfindung die kürzeste Anfragezeit bereit, wenn Benutzeranfragen von öffentlichen Transitanweisungen erfüllt werden.

[0044] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 1** ist ein hochrangiges Blockdiagramm einer Computerumgebung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Ein Transitserver **100** (d. h. ein Transitreiseplanungssystem) stellt Benutzern öffentliche Transitanweisungen bereit (d. h. Verkehrsmittel), die auf eine Anfrage nach einer öffentlichen Transitreise an einem gegebenen Datum und einer Zeit reagieren, und zwar unter Verwendung eines umfassenden Vorverarbeitungsansatzes von gespeicherten optimalen Wechselsmustern, um spezifische optimale öffentliche Verkehrsfahrten bereitzustellen. Obwohl **Fig. 1** eine Ausführungsform darstellt, versteht sich, dass alle Ausführungen der Erfindung die Verwendung eines Computersystems erfordern, um die Vorgänge auszuführen und die unterschiedlichen Arten von hierin beschriebenen Daten zu speichern. Dementsprechend sollte bei der nachfolgenden Abhandlung dann davon ausgegangen werden, dass alle Schritte, Daten und dergleichen durch eine Kombination eines Computersystems und einer Programmierlogik implementiert werden, und in keinster Weise durch mentale Schritte oder körperlose abstrakte Ideen eintreten.

[0045] In einer Ausführungsform umfasst eine öffentliche Transitreise eine zeitspezifische Route oder einen Weg von einem Quellenstandort (d. h. Start) zu einem Zielstandort (d. h. Zielort) unter ausschließlicher Verwendung von öffentlichen Verkehrsmitteln. Unterschiedliche Formen von öffentlichen Verkehrsmitteln können Busse, Stadtbahnen, U-Bahnen, Trolleybusse, Pendlerzüge, Fähren oder Flugzeuge beinhalten. Fachleute auf dem Gebiet werden erkennen, dass es andere Formen von öffentlichen Verkehrsmitteln außer den hierin aufgeführten gibt, und dass sie als Beförderungsmittel verwendet werden können, um zwischen Standorten auf einer öffentlichen Verkehrsfahrt zu reisen. Zwecks einfacherer Abhandlung wird eine öffentliche Verkehrsfahrt von hier an als „Fahrt“ bezeichnet.

[0046] Durch Verwendung der vorverarbeiteten optimalen Wechselsmusterinformationen führt der Transitserver **100** einen minimalen Betrag an Berechnung bei jeder Anfragezeit aus, um eine Anfrage für eine Fahrt zu erfüllen. Dadurch wird die schnellste Reaktionszeit auf die Anfrage eines Benutzers ermöglicht. Als Reaktion auf eine Anfrage eines Benutzers nach Transitanweisungen von einem Startstandort zu einem Zielstandort zu einer bestimmten Zeit stellt der Transitserver **100** Benutzern eine oder mehrere optimale öffentliche Transitrouten für eine gewünschte Reise bereit.

[0047] In einer Ausführungsform ist eine optimale öffentliche Transitrouten eine Route von einer Station in der Nähe des Startstandorts zu einer Station in der Nähe des Zielstandorts, der in Bezug auf Kosten optimal ist. Die Kosten einer Fahrt können auf der Zeit zum Erreichen der Station in der Nähe des Zielstandorts und/oder der Anzahl von Wechsels basieren, die zum Erreichen der Station in der Nähe des Zielstandorts gemäß einer Ausführungsform benötigt werden.

[0048] Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst der Transitserver **100** unterschiedliche Module. Wie auf dem Gebiet bekannt, bezieht sich der Begriff „Modul“ auf die Computerlogik, die zum Bereitstellen der spezifizierten Funktionalität verwendet wird. Somit kann ein Modul in Hardware, Firmware und/oder Software implementiert werden, die einen Mehrzweckprozessor steuert. In einer Ausführungsform sind die Module Programmcode-dateien, die auf einer Speichervorrichtung gespeichert sind, in einen Speicher geladen und durch einen Prozessor ausgeführt werden, oder von Computerprogrammprodukten bereitgestellt werden können (z. B. computerausführbare Anweisungen), die in einem greifbaren computerlesbaren Speichermedium (z. B. RAM, Festplatte oder optische/magnetische Medien), gespeichert sind. Zusätzlich werden Fachleute auf dem Gebiet erkennen, dass weitere Ausführungsformen des Transitserver **100**, der in **Fig. 1** dargestellt ist, unterschiedliche und/oder andere Module als die hier beschriebenen aufweisen können, und dass die Funktionalitäten unter den Modulen auf andere Art aufgeteilt werden können.

[0049] In einer Ausführungsform steht der Transitserver **100** in Kommunikation mit einem Client **131** über ein Netzwerk **137**, wobei es sich typischerweise um das Internet handelt, das jedoch auch jedes Netzwerk sein kann, einschließlich, aber nicht beschränkt auf jede Kombination eines LAN, eines MAN, eines WAN, eines mobilen, verdrahteten oder drahtlosen Netzwerks, eines privaten Netzwerks oder eines virtuellen privaten Netzwerks. Obwohl nur ein einzelner Client **131** dargestellt ist, versteht sich, dass sehr große Anzahlen (z. B. Millionen) von Clients unterstützt werden und jederzeit mit dem Transitserver **100** in Kommunikation

stehen können. Der Client **131** führt einen Browser **133**, wie z. B. MOZILLA oder INTERNET EXPLORER aus, um dem Transitserver **100** eine Anfrage für Anweisungen für eine Fahrt bereitzustellen. Der Client **131** kann eine Vielfalt von unterschiedlichen Computergeräten beinhalten. Beispiele von Client-Geräten **131** sind PCs, digitale Assistenten, PDAs, Handys, Mobiltelefone, Smartphones oder Laptop-Computer. Wie gewöhnlichen Fachleuten auf dem Gebiet offensichtlich sein wird, ist die vorliegende Erfindung nicht auf die oben aufgeführten Vorrichtungen beschränkt.

[0050] In einer Ausführungsform umfasst ein Transitserver **100** eine Front-End-Schnittstelle **101**, eine Transitinformationsschnittstelle **129**, ein Vorberechnungsmodul **103**, ein Anfrageauflösungsmodul **115**, eine Routeninformationsdatenbank **125** und eine Transitinformationsdatenbank **127**. Die Front-End-Schnittstelle **101** empfängt Transitanfragen vom Client **131**. In einer Ausführungsform sendet der Client **131** eine Anfrage nach einer Reise an den Transitserver **101**. Die Anfrage wird von der Front-End-Schnittstelle **101** empfangen und wird dem Anfrageauflösungsmodul **115** übermittelt, um die Anfrage zu erfüllen.

[0051] Die Transitinformationsschnittstelle **129** empfängt Informationen in Bezug auf Transitzeitpläne von öffentlichen Verkehrssystemen von einer Mehrzahl von öffentlichen Verkehrsstellen, wie z. B. eine Fluggesellschaft, eine Buslinie oder jede andere öffentliche Verkehrsstelle, die öffentliche Transportfahrten bereitstellt. In einer Ausführungsform stellt jede Transitstelle, die in Kommunikation mit dem Transitserver **100** steht, Transitinformationen gemäß einem spezifizierten Format bereit, wie z. B. Google Transit Feed Specification (GTFS), beschrieben unter http://code.google.com/transit/spec/transit_feed_specification.html. Das Empfangen von Transitinformationen im GTFS-Format ermöglicht dem Transitserver **100**, Informationen von unterschiedlichen Transitstellen in einem einheitlichen Datenformat zu empfangen. In einer Ausführungsform beinhalten Transitinformationen öffentliche Verkehrsmittelpläne für die Fahrt, die Kalenderdaten beschreiben, wenn ein Transitfahrzeug(e) die Fahrt durchführen und Stationsinformationen (z. B. die Adresse), die Stationen beschreiben, an denen während der Fahrt Halte erfolgen. Weitere Attribute einer Fahrt können in den Transitinformationen beinhalten sein, wie z. B. die monetären Kosten, um die Fahrt durchzuführen und die Zeit, wenn Halte an unterschiedlichen Transitstationen durchzuführen sind. Sobald die Transitinformationen für Fahrten empfangen werden, speichert die Transitinformationsschnittstelle **129** die Informationen in der Transitinformationsdatenbank **127**. In der Praxis speichert die Transitinformationsdatenbank **127** Transitinformationen von einer Vielzahl von unterschiedlichen Transitstellen. In einem typischen Ballungsraum speichert die Transitinformationsdatenbank **127** beispielsweise Busfahrplaninformationen von einem öffentlichen Bussystem, Bahnfahrplaninformationen für lokale Pendlerzüge, Stadtbahnen; und Fernzüge, U-Bahnfahrpläne für ein U-Bahn-system usw.

[0052] In einer Ausführungsform führt das Vorberechnungsmodul **103** ein Vorberechnungsverfahren bei den Transitinformationen vor der Anfragezeit aus. Das Vorberechnungsmodul **103** verwendet die in der Transitinformationsdatenbank **127** gespeicherten Transitinformationen zum Bestimmen eines Satzes von Wechselsmustern aller optimalen Routen zwischen zwei Stationen, die innerhalb der Transitinformationsdatenbank **127** angegeben sind. Unter Verwendung der Transitinformationen bestimmt das Vorberechnungsmodul **103**, welche Stationen direkt von einer anderen Station erreichbar sind, ohne dass einer oder mehrere Wechsel vorgenommen werden müssen. Diese Stationen sollen direkt verbunden sein. Das Vorberechnungsmodul **103** speichert den Satz von Wechselsmustern und Direktverbindungsinformationen in der Routeninformationsdatenbank **125**.

[0053] Das Anfrageauflösungsmodul **115** bestimmt optimale Fahrtrouten, um Benutzeranfragen nach Anweisungen von einem Startstandort zu einem Zielstandort in einer bestimmten Zeit zu erfüllen. Das Anfrageauflösungsmodul **115** verwendet das vorverarbeitete optimale Wechselsmuster und Direktverbindungen, die durch das Vorberechnungsmodul **103** bereitgestellt werden, um die optimalen Fahrten zu bestimmen. Im Allgemeinen führt das Anfrageauflösungsmodul **115** bei der Anfragezeit einen reduzierten Satz von Berechnungen aus, um eine Anfrage durch Abrufen einer Anzahl von Wechselsmustern von der Routeninformationsdatenbank **125** zu erfüllen, die mit dem Startstandort und Zielstandort verbunden sind, die mit der Anfrage in Zusammenhang stehen, und Bewerten von jeder Fahrt, die von den Wechselsmustern instanziiert werden kann, um optimale Fahrten zu bestimmen. Da die Anzahl von Wechselsmustern, die für eine bestimmte Anfrage relevant ist, klein ist, da nur die Wechselsmuster, die mit den Start- und Zielstandorten verbunden sind, bewertet werden müssen, unabhängig von der Gesamtanzahl der Wechselsmuster sind, ist die Extremfallanfragezeit typischerweise sehr schnell.

II. Vorberechnungsverarbeitung

[0054] Wie in Fig. 1 dargestellt, umfasst das Vorberechnungsmodul **103** ein Transitgraphmodul **105**, ein Globalstationsauswahlmodul **107**, ein Wechselsmusterberechnungsmodul **109**, ein Wechselsmusterkompressions-

modul **111** und ein Direktverbindungsmodul **113**. Fachleute auf dem Gebiet können erkennen, dass das Vorberechnungsmodul **103** andere Module in unterschiedlichen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beinhalten kann. Unter nun folgender Bezugnahme auf **Fig. 2** umfasst in einer Ausführungsform der Vorberechnungsprozess des Vorberechnungsmoduls **103** die folgenden Funktionsstufen:

- 200**: Transitgraph und Transittabellen erzeugen.
- 201**: Globale Stationen auswählen.
- 203**: Direktverbindungsfahrten bestimmen.
- 205**: Berechnen von Wechselmustern.
- 207**: Kompression von Wechselmustern.

[0055] Jede Funktionsstufe des Vorberechnungsprozesses wird nachfolgend weiter beschrieben.

1. Erzeugen von Transitgraph und Transittabellen

[0056] In der ersten Stufe des Vorberechnungsprozesses erzeugt **200** das Transitgraphmodul **105** einen Transitgraphen und seine verbundenen Transittabellen. Ein Transitgraph ist eine Darstellung aller möglichen Fahrten, die in der Transitinformationsdatenbank **127** für einen gegebenen Zeitraum, wie z. B. eine Woche oder einen Monat, gespeichert sind. Im Allgemeinen beschreibt eine Fahrt Halte, die durch ein einzelnes Transitfahrzeug an unterschiedlichen Transitstationen zu spezifischen Zeiten ohne Wechsel ausgeführt wurden. Mit anderen Worten ausgedrückt ist eine Fahrt ein einzelnes Transitfahrzeug, das eine Reihe von Halten (oder keine Halte) zu einigen gegebenen Zeiten ohne Wechsel ausführt. In einer Ausführungsform beschreibt eine Reise eine oder mehrere Fahrten, die zum Reisen von einer Quellenstation zu einer Zielstation erforderlich sind. Das heißt, dass eine Reise von einer Quellenstation zu einer Zielstation eine Reihe von Fahrten sein kann, wenn ein Wechsel zu einem anderen Transitfahrzeug erforderlich ist, um die Zielstation zu erreichen. Daher kann eine Reise die Verwendung von einem oder mehreren Transitfahrzeugen beinhalten, um die Zielstation zu erreichen. Durch Erzeugen des Transitgraphen erzeugt das Transitgraphmodul **105** eine Darstellung eines umfassenden Netzwerks von Fahrten, die durch unterschiedliche Transitstellen für den gegebenen Zeitraum bereitgestellt werden. Die Struktur des Transitgraphen wird nachfolgend detaillierter beschrieben.

[0057] Im Allgemeinen umfasst der Transitgraph für jede bekannte Fahrt eine Reihe von Knoten, die durch Bögen verbunden sind, um die Fahrt darzustellen. Jeder Knoten in einer Fahrt stellt ein Ereignis dar, das durch ein öffentliches Verkehrsfahrzeug an einer Transitstation zu einer bestimmten Zeit erzeugt wurde. Ein gerichteter Bogen verbindet einen Knoten, der eine Station (Quellenknoten) mit einem Knoten verbindet, der eine zweite Station (Zielknoten) darstellt, wobei ein öffentliches Verkehrsfahrzeug von der ersten Station zur zweiten Station fährt und an der zweiten Station hält. Beispielsweise kann eine Reise von einer Station in Mountain View, CA zu einer Station in San Francisco, CA über Cal Train einen einzelnen Halt an einer Station beinhalten, die in Palo Alto, CA, positioniert ist. Daher würde ein Transitgraph einen Knoten beinhalten, der das Ereignis an der Station Mountain View darstellt, der durch einen gerichteten Bogen mit einem Knoten verbunden ist, der das Ankunftsereignis an der Station Palo Alto darstellt, der weiterhin durch einen gerichteten Bogen mit einem Knoten verbunden ist, der die Station San Francisco darstellt.

[0058] Unter nun erfolglicher Bezugnahme auf **Fig. 3** ist eine Ausführungsform eines Ablaufdiagramms dargestellt, das den Prozess veranschaulicht, der durch das Transitgraphmodul **105** ausgeführt wird, um einen Transitgraphen und seine Transittabellen zu erzeugen. Zur einfacheren Beschreibung wird die Erzeugung des Transitgraphen unter Bezugnahme auf eine einzelne Fahrt innerhalb des durch den Transitgraphen dargestellten Zeitraums beschrieben. In einer Ausführungsform, wie nachfolgend weiter beschrieben ist, sind spezifische Bögen im Transitgraphen mit Fahrtinformationen in Zusammenhang mit einer Fahrt verbunden, von der die Bögen erzeugt wurden. Diese Informationen beschreiben die Tage, für die die verbundene Fahrt innerhalb eines Zeitfensters gültig ist. Daher wird darauf hingewiesen, dass der durch das Transitgraphmodul **105** ausgeführte Prozess, der hierin für eine einzelne Fahrt beschrieben ist, für jede bekannte Fahrt wiederholt wird, um einen Transitgraphen zu erzeugen, der Fahrtinformationen für alle bekannten Fahrten beinhaltet. Daher kann das Transitgraphmodul **105** unter Verwendung der hierin beschriebenen Lehren auch einen Transitgraphen für eine neue Zeitdauer aktualisieren, die alle möglichen Fahrten innerhalb des Zeitraums beschreibt, wie in den öffentlichen Transitinformationen beschrieben, die in der Transitinformationsdatenbank **127** gespeichert sind.

[0059] Zuerst ruft das Transitgraphmodul **105** Informationen **300** für eine Fahrt ab, die an einer Quellenstation startet und an einer Zielstation endet. In einer Ausführungsform ruft das Transitgraphmodul **105** Fahrtinformationen in Zusammenhang mit der Fahrt von der Transitinformationsdatenbank **127** ab, und weist einen Fahrtidentifikator (ID) zu, um die Fahrt von den anderen Fahrten im Transitgraphen zu unterscheiden. Wie zuvor erwähnt, beinhalten die Fahrtinformationen für eine Fahrt die geplanten Betriebsstage für die Fahrt, und

Stationsinformationen, die Zeiten und Stationsstandorte beschreiben, an denen Halte im Verlauf der Fahrt durchgeführt werden. Mit anderen Worten ausgedrückt bestimmt das Transitgraphmodul **105** eine Route für die Fahrt von der Quellenstation zur Zielstation, wobei die Route Stationen beschreibt, an denen Ankunfts- und Abfahrtsereignisse entlang der Route durchgeführt werden, und ein Zeitplan der Halte.

[0060] Unter Verwendung der Transitinformationen konstruiert **301** (d. h. erzeugt) das Transitgraphmodul **105** einen Transitgraphen basierend auf den Transitinformationen. Das heißt, dass das Transitgraphmodul **105** von den Transitinformationen die gegebene Quellenstation und Zielstation für die Fahrt, und alle Zwischenstationen bestimmt, an denen ein Halt und/oder Wechsel zwischen den Start- und Zielstationen durchgeführt werden. Das Transitgraphmodul **105** bestimmt auch Fahrplaninformationen in Zusammenhang mit jeder Station, die beschreiben, wann das öffentliche Verkehrsfahrzeug an einer Station ankommt und davon abfährt.

[0061] Für jede Ankunft und/oder Abfahrt des Fahrzeugs an einer Station fügt das Transitgraphmodul **105** bis zu zwei Knoten in den Transitgraphen an ihrer jeweiligen Zeit eines Tages ein, die jeweils ein Abfahrtsereignis und ein Ankunftsereignis darstellen. Daher wird kein Knoten an dieser Station erzeugt, wenn an einer Station kein Fahrzeug ankommt/abfährt, da an dieser Station kein Abfahrts- oder Ankunftsereignis für die Fahrt stattfindet. Da Knoten im Transitgraphen von den Transitinformationen erzeugt werden, ist jeder Knoten mit einem Transitfahrzeug an einer Station zu einem spezifischen Zeitpunkt verbunden. In einer Ausführungsform kann ein Knoten im Transitgraphen entweder ein Stationsknoten oder ein Onboard-Knoten sein. Ein Stationsknoten stellt ein Fahrzeug an einer Station dar, in das ein Benutzer einsteigen kann (d. h. eintreten), um eine Fahrt durchzuführen. Im Gegensatz dazu stellt ein Onboard-Knoten ein öffentliches Verkehrsfahrzeug dar, in das ein Benutzer aktuell eingestiegen ist, das an der Station positioniert ist, die mit dem Knoten verbunden ist. Knoten im Transitgraphen sind miteinander über Bögen verbunden, die die Route einer Fahrt gemäß einer Ausführungsform beschreiben. Im Allgemeinen gibt es vier Typen von Bögen: Einstiegsbögen, die ein Transitfahrzeug beschreiben, das an einer Station bestiegen wird, Ausstiegsbögen, die ein Transitfahrzeug beschreiben, aus dem an einer Station ausgestiegen wird, mit optionalem Gehen, wenn eine Person zu einer anderen Station gehen muss, um ein Transitfahrzeug zu besteigen, um eine Reise zu beenden, Wartebögen, die eine Person beschreiben, die an einer Transitstation wartet, und Transitbögen, die das Verbleiben an Bord eines Fahrzeugs zwischen zwei Halten von einer Fahrt beschreiben.

[0062] Bögen werden nun unter Bezugnahme auf die Onboard- und Stationsknoten von Station A und Station B beschrieben. Das tiefgestellte „O“ stellt einen Onboard-Knoten dar, während das tiefgestellte „S“ einen Stationsknoten darstellt. Das Symbol „→“ stellt einen Bogen zwischen zwei Knoten dar. Nachfolgend ist eine Beschreibung dargestellt, die die Transitereignisse beschreibt, die zwischen Stationen auftreten können.

1. $A_S \rightarrow B_O$ entspricht dem Einsteigen in ein Transitfahrzeug an Station A und Reisen zu Station B ohne Halte zwischen Station A und Station B.
2. $A_O \rightarrow B_S$ entspricht dem Aussteigen aus einem Fahrzeug an Station A und Gehen zu Station B.
3. $A_O \rightarrow A_S$ entspricht dem Aussteigen aus einem Fahrzeug an Station A und Bleiben in derselben Station.
4. $A_O \rightarrow B_O$ entspricht dem Bleiben an Bord eines Fahrzeugs an Station A und Bleiben an Bord desselben Fahrzeugs mindestens bis zur Ankunft an Station B.
5. $A_S \rightarrow A_S$ entspricht dem Warten an Station A und Nichtbesteigen des Transitfahrzeugs, das zu diesem Zeitpunkt von Station A abfährt.

[0063] Wie oben erwähnt, analysiert das Transitgraphmodul **105** die Transitinformationen für jede Fahrt, um die während der Fahrt stattfindenden Ereignisse zu bestimmen. Basierend auf dem Ereignis positioniert das Transitgraphmodul **105** entsprechende Knoten (entweder Stations- oder Onboard-Knoten) im Transitgraphen und verbindet die Knoten mit Bögen. Der Typ von Bogen, der ein Paar von Knoten verbindet, basiert darauf, ob verbundene Knoten Stations- oder Onboard-Knoten sind. Wenn beispielsweise die Transitinformationen beschreiben, dass ein Transitfahrzeug an Station A bestiegen wird und ohne einen Wechsel zu Station B fährt, dann beinhaltet das Transitgraphmodul **105** einen Stationsknoten, der mit Station A im Transitgraphen verbunden ist, und beinhaltet einen Onboard-Knoten, der mit Station B im Transitgraphen verbunden ist. Daher ist der Bogen, der die Knotenpunkte verbindet, ein Einstiegsbogen. In einem anderen Beispiel ist der die Knoten verbindende Bogen ein Ausstiegsbogen, wenn ein Onboard-Knoten mit einem Stationsknoten verbunden ist.

[0064] Zum Beschreiben von Wartebögen wird der Begriff von Zeit im Transitgraphen dargestellt. Unter nun erfolgter Bezugnahme auf **Fig. 4** ist ein Teil eines Transitgraphen dargestellt. Hier in dieser Veranschaulichung ist der Transitgraph **400** mit Knoten davon dargestellt, die hinsichtlich einer Y-Achse und einer X-Achse organisiert sind. Die Y-Achse des Transitgraphen stellt Zeit dar und die X-Achse stellt Stationen dar. Es versteht sich, dass die X- und Y-Achse vollständig hier als eine bequeme Art des Erklärens der Verwendung der Zeit im Transitgraphen veranschaulicht sind, und dass in der eigentlichen Praxis der in der Routeninfo-

mationsdatenbank **125** gespeicherte Transitgraph keine X- oder Y-Achse beinhaltet, und dass die Knoten des Graphen auch nicht auf eine räumliche Art angeordnet sind, wie dargestellt in **Fig. 4**.

[0065] In dieser Veranschaulichung ist die Y-Achse eine Zeitdarstellung eines einzelnen Tages. Um den Begriff von Zeit im Transitgraphen zu erklären, fügt das Transitgraphmodul **105** für jede in der X-Achse dargestellte Station eine Reihe von Knoten zum Transitgraphen hinzu, die als entlang der Y-Achse veranschaulicht dargestellt sind. Jeder Knotenpunkt in der Serie, der mit einem Bahnhof verbunden ist, stellt ein Transitereignis da, das zu einer bestimmten, dem Knotenpunkt zugewiesenen Zeit am Bahnhof eintritt.

[0066] Wie im Transitgraphen dargestellt, beinhaltet Station S_1 eine Reihe von Knoten in unterschiedlichen Zeitintervallen. Knoten, die mit einem „S“ gekennzeichnet sind, werden als Stationsknoten betrachtet, und Knoten, die mit einem „O“ gekennzeichnet sind, werden als Onboard-Knoten betrachtet. Jeder Bahnhofsknotenpunkt, der einem bestimmten Bahnhof zugewiesen ist, ist einem Ereignis, das an dem Bahnhof zu einer bestimmten Zeit stattfindet, zugewiesen. In einer Ausführungsform werden die Stationsknoten für alle Stationen sequenziell basierend auf Zeit verknüpft, um eine Person darzustellen, die an einer bestimmten Station wartet. Beispielsweise werden im Transitgraphen die Stationsknoten für S_1 sequenziell in Zeit verbunden, die den Gedanken darstellt, dass eine Person an Station S_1 in einem Zeitraum zwischen T_1 und T_4 warten kann. In einer Ausführungsform schließt das Transitgraphmodul **105** auf Fahrten anhand von Informationen, die im Transitgraphen vorhanden sind, indem jeder Stationsknoten einer gegebenen Station mit dem nächsten Abfahrtsereignis, das an der gegebenen Station auftritt, durch einen Bogen verbunden wird.

[0067] Zwecks einfacherer Abhandlung werden Einstiegs-, Ausstiegs- und Gehbögen nun ohne Bezug zu Zeit beschrieben. Nehmen wir an, dass das Transitgraphmodul **105** eine Reise anhand der Transitinformationen darstellt, die eine Quellenstation A zu Zielstation D beschreibt, die Zwischenhalte an Stationen B und C aufweist, jedoch keine Wechsel. Wir weisen darauf hin, dass in diesem Szenario eine einzelne Fahrt als eine Reise angesehen wird. Die Reise würde unter Verwendung dieses Begriffs wie folgt dargestellt werden:

$$A_S \rightarrow B_O \rightarrow C_O \rightarrow D_O$$

[0068] In Bezug auf die obige Bezeichnung beschreibt $A_S \rightarrow B_O$ ein Fahrzeug, das an Station A bestiegen wird und zu Station B fährt. $B_O \rightarrow C_O$ beschreibt das Aufhalten an Bord des Fahrzeugs an Station B und Bleiben im Fahrzeug, wenn das Fahrzeug an Station C ankommt. $C_O \rightarrow D_O$ beschreibt ein ähnliches Szenario als $B_O \rightarrow C_O$, doch da Station D die Zielstation darstellt, stellt der Onboard-Knoten die Ankunft am Zielort dar.

[0069] Zum Darstellen der Reise im Transitgraphen stellt das Transitgraphmodul **105** jedes Ankunfts-/Abfahrtsereignis als einen Knoten dar. Wie jedoch zuvor erwähnt, entspricht jeder Knoten entweder einem Stationsknoten oder einem Onboard-Knoten. Das Transitgraphmodul **105** bestimmt, welche Knoten für ein Paar von Stationen in der Fahrt basierend auf dem Transitereignis zu verwenden sind, das zwischen den Stationen eintritt. Unter Verwendung des oben beschriebenen Beispiels würde das Transitgraphmodul **105** das Ereignis an Station A als einen Stationsknoten A darstellen und das Ereignis an Station B als einen Onboard-Knoten darstellen, da das Transitfahrzeug an Station A bestiegen wird und das Fahrzeug zu Station B fährt, ohne dass ein Wechsel stattfindet. Als Nächstes würden, da das Fahrzeug von Station B abfährt und zur Zielstation D fährt, und nur an Station C hält, jedoch ohne Wechsel, die Ereignisse, die an Stationen C und D eintreten, durch das Transitgraphenmodul **105** als Onboard-Knoten dargestellt werden.

[0070] Als ein weiteres Beispiel nehmen wir die oben abgehandelte Reise mit der Ausnahme an, dass ein Wechsel an Station C erfolgt. Daher erfordert diese Reise zwei Fahrten, da ein Wechsel an Station C erfolgt. Diese Reise würde die folgende Darstellung im Transitgraphen aufweisen:

$$A_S \rightarrow B_O \rightarrow C_O \rightarrow C_S \rightarrow D_O$$

[0071] Unter Verwendung der oben beschriebenen Bezeichnung stellt $B_O \rightarrow C_O$ das Transitfahrzeug als an Station C von Station B ankommend dar. $C_O \rightarrow C_S$ beschreibt, dass das Fahrzeug an Station C abgefahren ist, und die Person, die das Fahrzeug verließ, an Station C wartet, um ein anderes Transitfahrzeug zu besteigen, das von Station C abfährt.

[0072] Unter Fortsetzung des obigen Beispiels wären im Transitgraphen die Darstellungen der Ereignisse an den Stationen A und B ein Stationsknoten für das Ereignis an Station A und ein Onboard-Knoten für das Ereignis an Station B in Bezug auf die obige Beschreibung. Für Station C würde das Transitgraphmodul **105** das Transitereignis, das an Station C stattfindet, über zwei Knoten darstellen: einen Stationsknoten und einen

Onboard-Knoten. vom Onboard-Knoten von Station B würde das Transitgraphmodul **105** einen Bogen mit dem Onboard-Knoten von C verbinden, der das Ankunftsereignis an Station C beschreibt, und Bleiben auf dem Transitfahrzeug zu dieser Zeit. vom Onboard-Knoten an Station C würde das Transitgraphmodul **105** einen weiteren Bogen mit dem Stationsknoten von C verbinden, der darstellt, dass der Benutzer aus dem Transitfahrzeug an Station C aussteigt und an derselben Station auf das nächste Transitfahrzeug wartet.

[0073] Um die Verwendung von Zeit innerhalb des Transitgraphen weiter zu veranschaulichen, erneut Bezug nehmen auf **Fig. 4**. Wie zuvor erwähnt, ist die Y-Achse in dieser Veranschaulichung eine Zeitdarstellung eines einzelnen Tages. Für jede Darstellung, die in der X-Achse dargestellt ist, fügt das Transitgraphmodul **105** eine Reihe von Knoten zum Transitgraphen hinzu, was als entlang der Y-Achse angeordnet veranschaulicht werden würde. Jeder Knotenpunkt in der Serie, der mit einem Bahnhof verbunden ist, stellt ein Transitereignis da, das zu einer bestimmten, dem Knotenpunkt zugewiesenen Zeit am Bahnhof eintritt. Das Transitgraphmodul **105** verwendet die Planungsinformationen von den gespeicherten Transitinformationen zum Bestimmen der Zeitinformationen für jeden Knoten. Daher beinhaltet das Transitgraphmodul **105** für jede Station einen Knoten für jede Instanz von Zeit, in der ein Fahrzeug an der Station ankommen oder davon abfahren kann.

[0074] In einer Ausführungsform weist jeder Bogen, der Knoten von einer Fahrt im Transitgraphen verbindet, verbundene Kosten auf, die vom Transitgraphmodul **105** bestimmt werden. Alle Kosten beschreiben den Preis zum Erreichen des Zielknotens vom Quellenknoten, der den Bogen verbindet, hinsichtlich unterschiedlicher Faktoren, die monetäre Kosten beinhalten können oder nicht. Das Transitgraphmodul **105** analysiert die gespeicherten Transitinformationen, die mit jeder Fahrt verbunden sind, um die Kosten für Bögen zu bestimmen.

[0075] In einer Ausführungsform sind die Kosten für einen Bogen eine multidimensionale Kostenfunktion. Die erste Dimension der Kostenfunktion basiert auf Zeit. Das Transitgraphmodul **105** analysiert die Transitinformationen, um die Zeitdifferenz zwischen der Ankunftszeit am Zielknoten und der Abfahrtszeit am Quellenknoten zu bestimmen. Die Gesamtzeit zum Erreichen der Station, die mit dem Zielknoten verbunden ist, ist mit dem Bogen verbunden, der den Zielknoten mit dem Quellenknoten als die erste Dimension der Kostenfunktion verbindet. In einer Ausführungsform wird die Dauer in Sekunden dargestellt, obwohl andere Darstellungen von Zeit in anderen Ausführungsformen verwendet werden können.

[0076] Die zweite Dimension der Kostenfunktion basiert auf unterschiedlichen Faktoren, die monetäre Kosten, Gesamtanzahl von Wechseln und/oder Gehkosten gemäß einer Ausführungsform beinhalten können. Die Aggregation dieser unterschiedlichen Faktoren hat eine Strafe zum Ergebnis, die in den Gesamtkosten beinhaltet ist. Das Transitgraphmodul **105** bestimmt die Strafe für einen Bogen basierend auf den Transitinformationen, die mit dem Schenkel der Fahrt verbunden sind.

[0077] Beispielsweise kann die Strafe des Bogens erhöht werden, wenn ein Wechsel an einer Station eintritt. Die monetären Kosten einer Reise können auch in die Strafe faktorisiert werden. Je größer die monetären Kosten, um eine Station zu erreichen, kann dies eine höhere Strafe zum Ergebnis haben, wenn eine Reise die Verwendung von mehr als einem Transitfahrzeug umfasst. Außerdem kann die Distanz, die von einer Station zu einer anderen gegangen wird, um einen Transitfahrzeugwechsel zu veranlassen, in die Kosten einer Fahrt faktorisiert werden. Die Gewichtung der unterschiedlichen Faktoren bei einer Strafe kann durch einen Systemadministrator des Transitservers **100** angepasst werden.

[0078] Das Transitgraphmodul **105** führt den oben beschriebenen Prozess aus, um im Transitgraphen die Knoten zu erzeugen, die die Reise anhand der Informationen in der Transitinformationsdatenbank **127** darstellen. Das Transitgraphmodul **105** wiederholt den Prozess für jede gespeicherte Reise, die innerhalb des Zeitraums gültig ist, den der Transitgraph darstellt, bis alle Fahrten im Transitgraphen dargestellt sind.

[0079] In einer Ausführungsform erzeugt das Transitgraphmodul **105**, anstatt einen neuen Transitgraphen für jeden Tag zu erzeugen, einen Stationsknoten für jedes Abfahrtsereignis, das an diesem Tag in der Station eintritt. Das Transitgraphmodul **105** verbindet die Stationsknoten über Wartebögen. Der letzte Stationsknoten des Tages wird einem Wartebogen **409** zugeordnet, der auf den ersten Stationsknoten des Tages zurück verweist. Dies stellt Warten an der Station nach Mitternacht dar, bis das nächste Abfahrtsereignis an der Station am folgenden Tag stattfindet. Wie bei den Onboard-Knoten im Transitgraphen ist jeder Onboard-Knoten mit einer oder mehreren Fahrten verbunden, und beinhaltet somit inhärent Informationen, die beschreiben, wenn eine oder mehrere Fahrten innerhalb einer Anzahl von Tagen innerhalb eines gegebenen Zeitraums gültig sind (d. h. in stattfinden)

[0080] In Fig. 4 ist der Transitgraph **400** von Zeit und öffentlichen Transitstationen gemäß einer Ausführungsform abhängig. Der Transitgraph **400** stellt Ereignisse dar (d. h. Ankunft oder Abfahrt), die durch ein öffentliches Verkehrsmittelfahrzeug an unterschiedlichen Stationen zwischen S_1 und S_6 zu unterschiedlichen Zeiten T_1 – T_8 als Knoten im Graphen erfolgen, verbunden durch Bögen **405**. Unter Verwendung der Transitinformationen hat das Transitgraphmodul **105** den Transitgraphen **400** konstruiert, der drei Reisen beinhaltet. Jeder Bogen im Transitgraphen **400** beinhaltet Kosten **407** zum Reisen von der Station, die den Quellenknoten darstellt, zur Station, die den Zielknoten darstellt.

[0081] Beispielsweise ist eine Reise, die im Transitgraphen **400** veranschaulicht ist, eine Fahrt von Station S_1 bei Zeit T_4 zu Station S_6 bei Zeit T_8 . Wie im Transitgraphen **400** dargestellt, ist der Knoten bei Station S_1 bei Zeit T_4 ein Stationsknoten, wie durch das innerhalb des Knotens positionierte „S“ bezeichnet. Der Knoten bei Station S_3 bei Zeit T_5 ist ein Onboard-Knoten, der durch das „O“ im Knoten dargestellt wird. Dieselbe Knotenbezeichnung wird in den verbleibenden Knoten im Transitgraphen **400** verwendet.

[0082] Die Route, die durch die Reise beschrieben wird, stellt ein Fahrzeug dar, das an Station S_1 bei Zeit T_4 startet, und damit fortfährt, einen Halt an Station S_3 bei Zeit T_5 durchzuführen, gefolgt von einem anderen Halt an Station S_4 bei Zeit T_6 . Von Station S_4 erreicht das Fahrzeug bei Zeit T_6 den Zielort an Station S_6 bei Zeit T_8 . Wir weisen darauf hin, dass obwohl die Reise beinhaltet, dass das Fahrzeug Station S_2 zwischen den Zeiten T_4 und T_5 passiert, kein Knoten erzeugt wird, der Station S_2 zwischen T_4 und T_5 darstellt, da das Fahrzeug keinen Halt an Station S_2 durchführte.

[0083] Zusätzlich beinhaltet der Transitgraph **400** auch eine Reise von Station S_2 bei Zeit T_1 zu Station S_6 bei Zeit T_8 sowie eine Reise von Station S_3 bei Zeit T_1 zu Station S_6 bei Zeit T_8 . Wir weisen daraufhin, dass das Fahrzeug, das von Station S_2 bei Zeit T_1 startet, an Station S_3 zu derselben Zeit ankommt, an der das Fahrzeug von Station S_1 bei Zeit T_4 startete. In einer Ausführungsform stellt der einzelne Knoten an Station S_3 bei Zeit T_5 beide Ereignisse dar.

[0084] Weiterhin veranschaulicht der Transitgraph **400** eine Reihe von Knoten **403** für Station S_1 , die jede zeitliche Instanz darstellt, in der ein Fahrzeug an der Station ankommen oder davon abfahren kann. Obwohl nur die Zeit T_4 ein Fahrzeug veranschaulicht, das von Station S_1 abfährt, versteht sich, dass zur Vereinfachung der Beschreibung Bögen, die Abfahrten von Knoten von Station S_1 veranschaulichen, weggelassen wurden. Der Knoten, der den letzten Stationsknoten von Station S_1 darstellt, ist dahingehend dargestellt, dass er auf den Stationsknoten zurück verweist, der die erste Zeit des Tages darstellt, an der die Station S_1 arbeitet.

[0085] Unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 3 erzeugt das Transitgraphmodul **105** eine Reihe von Transittabellen basierend auf dem Transitgraphen, sobald der Transitgraph konstruiert wurde. In einer Ausführungsform geben die Transittabellen Informationen an, die mit den Bögen und Knoten des Transitgraphen verbunden sind. Die Transittabellen sind im Wesentlichen eine tabellarische Darstellung des Transitgraphen, die Informationen über jeden Knoten und Bogen im Transitgraphen sowie andere Informationen angibt, die mit dem Transitgraphen in Zusammenhang stehen. Das Transitgraphmodul **105** speichert die im Transitgraphen beschriebenen Informationen in unterschiedlichen Transittabellen. Die Transittabellen werden nachfolgend detaillierter beschrieben. Wir weisen darauf hin, dass in einer Ausführungsform die Transittabellen direkt von den Transitinformationen erzeugt werden, anstatt dass der Transitgraph erzeugt wird, gefolgt von der Erzeugung der Transittabellen vom Transitgraphen.

[0086] Das Transitgraphmodul **105** konstruiert **303** einen Satz von Fahrtmasken basierend auf den Transitinformationen. In einer Ausführungsform wird der Satz von Fahrtmasken als eine Tabelle dargestellt, die alle möglichen Fahrten aufführt und beschreibt, wann die Fahrten gültig sind. Jede Reihe in der Tabelle stellt eine Fahrtmaske einer Fahrt dar. Das heißt, dass jede Fahrtmaske die Tage innerhalb eines Zeitraums beschreibt, am ein Fahrzeug eine bestimmte Fahrt durchführt, die in der Fahrtmaske angegeben ist. In einer Ausführungsform beträgt der Zeitraum in einer Fahrtmaske **60** Tage.

[0087] Unterschiedliche Zeiträume können in anderen Ausführungsformen verwendet werden. Eine exemplarische Fahrtmaske ist wie folgt:

exemplarische Fahrtmaske

Fahrt-ID	8/6/09	9/6/09...	...7/8/09	8/8/09
T_1	0	1	1	1
T_2	1	0	0	0
T_3	0	0	1	1
T_N	0	1	1	0

[0088] Jede Reihe in der Tabelle ist mit einer spezifischen Fahrt verbunden. Jede Spalte stellt einen Tag oder ein Datum innerhalb eines ausgewählten Zeitraums dar. In einer Ausführungsform gibt eine „1“ in der Fahrtmaske für einen gegebenen Tag an, dass die Fahrt an diesem Tag gültig ist, während eine „0“ angibt, dass die Fahrt am Tag ungültig ist. Unterschiedliche Begriffe können in anderen Ausführungsformen verwendet werden um zu bezeichnen, ob eine Fahrt gültig oder ungültig ist. Sobald die Fahrtmaske konstruiert ist, speichert das Transitgraphmodul **105** die Fahrtmaske in der Transitinformationsdatenbank **127**.

[0089] im obigen Beispiel führt die Fahrtmaske Fahrten T_1 , T_2 bis einschließlich T_N auf. Die verbleibenden Spalten stellen Tage zwischen einem spezifizierten Startdatum (z. B. 8. Juni 2009) und einem Enddatum (z. B. 8. August 2009) dar. Für jedes Datum ist entweder eine „1“ oder eine „0“ für jede Fahrt aufgeführt, die angibt, ob eine Fahrt am Datum gültig oder ungültig ist. Beispielsweise ist am 8. Juni 2009 nur Fahrt T_2 gültig. Alle anderen Fahrten, die in der Fahrtmaske aufgeführt sind, werden nicht durchgeführt. am folgenden Tag werden nur Fahrten T_1 und T_N durchgeführt.

[0090] Sobald die Fahrtmaske konstruiert wurde, konstruiert **305** das Transitgraphmodul **105** eine Knotentabelle. In einer Ausführungsform erzeugt das Transitgraphmodul **105** die Knotentabelle basierend auf dem Transitgraphen. Die Knotentabelle spezifiziert eine Identifikation (ID) für jeden Knoten und die Stations-ID der Station, die mit jedem Knoten verbunden ist. Die Knotentabelle spezifiziert weiterhin den Knotentyp, die mit jedem Knoten verbunden ist. Der Knotentyp beschreibt, ob der Knoten ein Stationsknoten oder ein Onboard-Knoten ist. Die Knotentabelle beinhaltet auch die Zeit des Ereignisses, das mit jedem Knoten verbunden ist. Das Ereignis kann eine Ankunft oder Abfahrt in Abhängigkeit vom Knotentyp sein. Schlussendlich beinhaltet die Knotentabelle die Fahrt-ID, die auf die Fahrtmaske verweist um anzugeben, wann der Knoten gültig ist. Wir weisen daraufhin, dass in einer Ausführungsform nur Onboard-Knoten mit einer Fahrt-ID verbunden sind, da Stationsknoten mit einer Person verbunden sein können, die einfach an einer Station wartet, die nicht Teil einer spezifischen Fahrt ist. Sobald die Knotentabelle konstruiert ist, speichert das Transitgraphmodul **105** die Knotentabelle in der Transitinformationsdatenbank **127**. Nachfolgend ist ein Beispiel einer Knotentabelle dargestellt.

exemplarische Knotentabelle

Knoten-ID	Stations-ID	Ereigniszeit	Knotentyp	Fahrt-ID
N_1	A	8:00	Onboard	T_8
N_2	B	16:00	Station	Entfällt
N_3	C	2:00	Station	Entfällt
N_4	A	12:00	Onboard	T_{345}
N_N	D	20:00	Onboard	T_{50}

[0091] Die dargestellte Tabelle weist fünf Spalten auf. Knoten-ID, Stations-ID, Ereigniszeit, Knotentyp und Fahrt-ID. Die Knoten-ID-Säule führt alle Knoten eines Transitgraphen N_1 bis einschließlich N_N auf. Jeder Knoten weist eine entsprechende Stations-ID, Ereigniszeit, Knotentyp und Fahrt-ID auf. Beispielsweise ist Knoten N_1 mit Station A verbunden. Die Tabelle gibt an, dass Knoten N_1 ein Onboard-Knoten mit einer Ereigniszeit um 8:00 ist. Daher kann der Onboard-Knoten ein Transifahrzeug darstellen, dass an Station A ankommt, ohne dass eine Person aus dem Fahrzeug aussteigt, oder dass das Transifahrzeug an Station A ankommt und eine Person aus dem Transifahrzeug an Station A aussteigt Die Knotentabelle gibt auch an, dass der Onboard-Knoten mit Fahrt ID T_8 verbunden ist, die auf die Fahrtmaske zurück verweist, um die Daten anzugeben, an denen die Fahrt, die mit dem Knoten verbunden ist, gültig ist. Als weiteres Beispiel ist Knoten N_3 mit Station C verbunden, und ist ein Stationsknoten. Das mit Knoten N_3 verbundene Ereignis tritt um 2:00 ein. Da der Knoten

ein Stationsknoten ist, kann das Ereignis, das um 2:00 stattfindet, ein Warteereignis oder ein Einstiegsereignis an Station C sein. Wie oben erwähnt, verweisen Stationsknoten nicht zurück auf eine Fahrt-ID.

[0092] Nachdem die Knotentabelle konstruiert ist, konstruiert **307** das Transitgraphmodul **105** eine Bogentabelle. Die Bogentabelle spezifiziert Informationen in Zusammenhang mit jedem Bogen in einem Transitgraphen. **111** einer Ausführungsform spezifiziert die Bogentabelle die Quellenknoten-ID und Zielknoten-ID von jedem Bogen zusammen mit der Strafe für jeden Bogen. Die Bögen selbst werden nicht explizit identifiziert. Vielmehr wird ein Bogen basierend auf den spezifischen Knoten geschlossen, die durch einen Bogen verbunden sind. Da jeder Knoten im Transitgraphen mit einer einzigartigen Knoten-ID verbunden ist, kann der Bogen basierend auf den Knoten-IDs der Knoten bestimmt werden, die durch einen Bogen verbunden sind. Die Bogentabelle beschreibt auch die Strafe, die mit jedem Bogen verbunden ist, der von den Quellen- und Zielknoten geschlossen wird. Sobald die Bogentabelle konstruiert ist, speichert das Transitgraphmodul **105** die Bogentabelle in der Transitinformationsdatenbank **127**. Nachfolgend ist ein Beispiel einer Bogentabelle dargestellt.

Beispiel einer Bogentabelle

Quellenknoten-ID	Zielknoten-ID	Strafe
N ₁	N ₂₄	100
N ₅₀	N ₃₂	150
N ₈	N ₁₀	200
N ₂₄	N ₉₄	50

[0093] Die Tabelle beinhaltet drei Spalten: Quellenknoten-ID, Zielknoten-ID und Strafe. Die Quellenknoten-ID- und Zielknoten-ID-Säulen führen alle Quellen- und Zielknotenpaare im Transitgraphen auf, die schließen lassen, welche Knoten durch Bögen verbunden sind. Beispielsweise geben die Stationsknoten-ID und die Zielknoten-ID von (N₁, N₂₄) an, dass diese zwei Knoten durch einen Bogen verbunden sind. In diesem Beispiel weist der Bogen eine Strafe von 100 auf.

[0094] Nachdem die Bogentabelle konstruiert ist, konstruiert **309** das Transitgraphmodul **105** eine Stationsstandorttabelle. Die Stationsstandorttabelle beschreibt den geografischen Standort von jeder Station im Transitgraphen. In einer Ausführungsform ist der geografische Standort von jeder Station durch die Breitengrad- und Längengradkoordinaten der Station dargestellt. Alternativ können andere Verfahren zum Beschreiben eines geografischen Standorts, wie z. B. eine Adresse einer Station, verwendet werden.

[0095] Sobald die Stationsstandorttabelle konstruiert ist, speichert das Transitgraphmodul **105** die Bogentabelle in der Transitinformationsdatenbank **127**. Nachfolgend ist ein Beispiel einer Stationsstandorttabelle dargestellt.

Stations-ID	Geografischer Standort
A	(33.58, -85.85)
B	(41.48, -120.53)
C	(38.22, -122.28)
D	(37.37, -121.92)

[0096] im obigen Beispiel beinhaltet die Stationsstandorttabelle die Stations-ID-Spalte, die alle Stationen im Transitgraphen aufführt. Die Stationsstandorttabelle beinhaltet auch eine geografische Standortspalte, die den geografischen Standort von jeder Stations-ID in Breitengrad- und Längengradkoordinaten aufführt. Beispielsweise weist die Station D einen geografischen Standort von Breitengrad 37.37 N und Längengrad -121.92 W auf, was einem Bereich in San José, CA, entspricht.

[0097] In einer Ausführungsform konstruiert **311** das Transitgraphmodul **105** die naheliegende Stationstabelle, um die Erzeugung der oben beschriebenen Bogentabelle zu unterstützen. Das Transitgraphmodul **105** verwendet insbesondere die naheliegende Stationstabelle zum Erzeugen von Wechselbögen. Wie zuvor erwähnt, werden Wechselbögen (die in Abhängigkeit davon, ob eine Person an der Station wechselt, an der die Person ankam oder zu einer anderen Station geht, Gehen enthalten kann oder nicht), von jedem Onboard-Knoten zum frühesten erreichbaren Abfahrtsereignis an allen Stationen erzeugt, die in der Nähe der Station liegen, an

der die Person ankam, einschließlich der Station selbst. Anstatt die Wechselbögen im Speicher zu speichern, wird die Tabelle der naheliegenden Station gespeichert und die Wechselbögen werden auf Anfrage für die Wechselbögen erstellt. Für jede Station in der Tabelle bestimmt das Transitgraphmodul **105** alle Stationen, die innerhalb einer radialen Distanz von der gegebenen Station liegen, unter Verwendung der gespeicherten Transitinformationen. Stationen innerhalb der radialen Distanz werden als „nahe“ oder „lokal“ zu einer Station angesehen. In einer Ausführungsform kann die radiale Distanz zwei Meilen betragen oder kann andere Distanzen in unterschiedlichen Ausführungsformen betragen. Daher weist eine gegebene Station in Abhängigkeit von der radialen Distanz des Transitserver **100**, wie von einem Systemadministrator bestimmt, möglicherweise keine naheliegende Station auf. Sobald die Tabelle der naheliegenden Station konstruiert ist, speichert das Transitgraphmodul **105** die Tabelle in der Transitinformationsdatenbank **127**. Nachfolgend ist ein Beispiel einer Tabelle einer naheliegenden Station dargestellt.

Beispiel einer Tabelle einer naheliegenden Station

Stations-ID	Beispiel einer Tabelle einer naheliegenden Stations-ID
A	{(A, 60), (D, 60), (Q, 60), (R, 120) (Z, 120), (Y, 3200)}
B	{(F, 120)}
C	Keine
D	{(D, 60), (M, 60), (E, 120), (K, 180)}

[0098] Die Tabelle beinhaltet zwei Spalten: Stations-ID und Liste von naheliegenden Stations-IDs. Für jede Stations-ID gibt die Liste von naheliegenden Stations-IDs die Stationen an, die als „naheliegend“ zur Station angesehen werden, und die Mindestzeitdauer, die zum Wechsel von der Station zu einer naheliegenden Station benötigt wird. Das heißt, dass die Liste von naheliegenden Stations-IDs diejenigen Stationen angibt, die innerhalb einer spezifizierten radialen Distanz liegen, und die Zeit, um die naheliegenden Stationen zu erreichen. Beispielsweise kann Station A nahe Station D, Station Q, Station R, Station Z und Station Y sein. Zum Wechseln von Station D zu Station A wird z. B. eine Mindestzeitdauer von 60 Sekunden benötigt, um den Wechsel durchzuführen. Im Gegensatz dazu weist Station C möglicherweise keine naheliegenden Stationen auf. Weiterhin weisen wir darauf hin, dass in einer Ausführungsform eine Station in ihrer Liste von naheliegenden Stations-IDs beinhaltet sein kann. Dies gibt eine Mindestzeitdauer (d. h. einen Sicherheitspuffer) an, die zum Wechsel von einem Transitfahrzeug zu einem anderen Transitfahrzeug an einer einzelnen Station benötigt wird. Beispielsweise gibt für Station A ihre Liste von naheliegenden Stationen eine Mindestzeitdauer von 60 Sekunden an, die zum Abschließen eines Wechsels an Station A benötigt wird. Wir weisen darauf hin, dass möglicherweise nicht alle Stationen in ihrer Liste von naheliegenden Stationen beinhaltet sind, wenn keine Wechsel an der Station eintreten, wie in der Liste von naheliegenden Stationen für Station B im oben dargestellten Beispiel dargestellt.

2. Globalstationsauswahl

[0099] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 2** wählt (d. h. bestimmt) in der zweiten Stufe (optional) des Vorberechnungsprozesses das Globalstationsauswahl(GSS)-Modul **107** Globalstationen aus. In einer Ausführungsform sind Globalstationen Stationen, an denen ein Wechsel wahrscheinlich während langer Verbindungen eintreten wird. Das heißt, dass bei Fahrten, die sich über eine lange Distanz erstrecken, Globalstationen Stationen sind, an denen ein Wechsel oftmals eintritt. Das GSS-Modul **107** wählt Globalstationen basierend auf der Anzahl von Transitrouten aus, die an einer Station wechseln, oder basierend auf einer zeitabhängigen Heuristik. Jede Ausführungsform wird nachfolgend detaillierter beschrieben.

[0100] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 5A** ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens dargestellt, das durch ein GSS-Modul **107** ausgeführt wird, um Globalstationen basierend auf der Anzahl von Routen zu berechnen, die an einer Station wechseln. Das GSS-Modul **107** empfängt als Eingabe den Transitgraphen **FIG. 505**. Vom Transitgraphen bestimmt das GSS-Modul **107** **FIG. 500** die Anzahl von Wechselschwellen, die an jeder Station eintreten. Das GSS-Modul **107** analysiert den Transitgraphen, um die Anzahl von Malen zu bestimmen, in denen ein Fahrzeugwechsel an jeder Station im Transitgraphen eintritt. Das GSS-Modul **107** identifiziert **FIG. 501** Globalstationen basierend auf der Anzahl von Wechselschwellen, die an jeder Station eingetreten sind. In einer Ausführungsform wird ein Wechselschwellenwert angewandt, der die Mindestanzahl von Wechselschwellen spezifiziert, die an einer Station eintreten muss, um als Globalstation angesehen zu werden. Das GSS-Modul **107** filtert jede Station gemäß dem Wechselschwellenwert, und die verbleibenden Stationen werden als die Globalstationen **FIG. 503** angesehen.

[0101] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 5B** ist eine weitere Ausführungsform eines Prozessablaufs von GGS-Modul **107** dargestellt, um Globalstationen basierend auf der zeitabhängigen Heuristik zu bestimmen. Das GGS-Modul **107** empfängt als Eingabe den Transitgraphen von **FIG. 505**. Das GGS-Modul **107** gruppiert **507** dann Stationsknoten für jede Station im Transitgraphen in einen einzelnen Knoten. Wie zuvor oben erwähnt, weist jede Station einen oder mehrere Knoten auf, die unterschiedliche Zeiten darstellen, an denen ein Fahrzeug an einer Station ankommen oder davon abfahren kann. Von diesen Knoten ist eine Untergruppe Stationsknoten. Das GGS-Modul **107** gruppiert die Stationsknoten für jede Station, um eine Stationsknotengruppe für die Station auszubilden. Beispielsweise würden die acht Knoten von Station S_1 , die in **Fig. 4** dargestellt sind, unter der Annahme, dass sie alle Stationsknoten sind, gruppiert werden, um eine Stationsknotengruppe auszubilden, die acht Knoten umfasst.

[0102] Das GGS-Modul **107** gruppiert **509** dann Onboard-Knoten. In einer Ausführungsform gruppiert das GGS-Modul **107** die Onboard-Knoten im Transitgraphen, die dieselbe Folge der vorangegangenen Stationen aufweisen, und bei denen kein Überholen zwischen den Fahrzeugen eintrat, die durch die Onboard-Knoten dargestellt wurden, um Onboard-Gruppen auszubilden. Das heißt, dass das GGS-Modul **107** Fahrten im Verlauf des Tages ähnlich gruppiert. In einer Ausführungsform sind ähnliche Fahrten, die einander nicht überholen und derselben Folge von Stationen entlang der Fahrt folgen. Für jede Gruppe von Fahrten gruppiert das GGS-Modul **107** den ersten Onboard-Knoten von jeder Fahrt der Gruppe in eine Onboard-Knotengruppe. Wir weisen darauf hin, dass die Onboard-Knotengruppe Onboard-Knoten an einer einzelnen Station darstellt, da die Gruppen von ähnlichen Fahrten sind. Das GGS-Modul **107** gruppiert dann den zweiten Onboard-Knoten von jeder Fahrt der Gruppe in eine zweite Onboard-Knotengruppe usw., bis alle Onboard-Knoten gruppiert worden sind.

[0103] Sobald das GGS-Modul **107** die Stationsknoten und Onboard-Knoten des Transitgraphen gruppiert hat, fügt **511** das GGS-Modul Bögen zwischen den Gruppen hinzu. In einer Ausführungsform analysiert das GGS-Modul **107** die ungruppierte Darstellung des Transitgraphen und bestimmt, ob mindestens ein Bogen zwischen zwei Knoten im Transitgraphen existierte, der zu den unterschiedlichen Stationsknotengruppen oder Onboard-Knotengruppen gehört. Das GGS-Modul **107** fügt einen Bogen zwischen den unterschiedlichen Gruppen hinzu, wenn ein Bogen zwischen den zwei Knoten im Transitgraphen austrat.

[0104] Das GGS-Modul **107** bestimmt **513** dann Kosten für jeden Bogen in der gruppierten Darstellung des Transitgraphen. In einer Ausführungsform bestimmt das GGS-Modul **107** für jeden Bogen zwischen zwei Gruppen vom Transitgraphen jedes Paar von Knoten, das über einen Bogen im Transitgraphen verbunden ist, wobei jeder Knoten im Paar zu den zwei unterschiedlichen Gruppen gehört, die verbunden sind. Im Wesentlichen erzeugt das GGS-Modul **107** einen Satz von Paaren von Knoten vom Transitgraphen, die verbunden sind und zum Paar von Gruppen gehören, die verbunden sind. Das GGS-Modul **107** bestimmt anhand des Satzes, welches Paar von Knoten mit den Mindestkosten verbunden ist, und ordnet **515** die Mindestkosten dem Bogen zwischen den zwei Gruppen im gruppierten Transitgraphen zu.

[0105] In einer Ausführungsform soll die gruppierte Darstellung des Transitgraphen zeitabhängig sein, da die Knoten, die verwendet werden, um eine Zeit im Transitgraphen zu tragen, in Knotengruppen abgeflacht wurden, um den Zeitaspekt nicht zu tragen. Da jede Knotengruppe in der gruppierten Darstellung des gruppierten Transitgraphen ähnliche Knoten über die Zeit darstellt, wird der resultierende Transitgraph als zeitunabhängig angesehen, da die Knotengruppen nicht mehr mit einer bestimmten Zeit verbunden sind.

[0106] Als Nächstes wendet **517** das GGS-Modul **107** den Dijkstra-Algorithmus wiederholt an, wobei jedes Mal auf Zufallsbasis eine Stationsgruppe als die Quelle genommen wird (d. h. alle kontraktierten Knoten, die zu dieser Stationsknotengruppe gehören, sind die Quelle der Suche des kürzesten Wegs), um den kürzesten Weg hinsichtlich der Kosten zu bestimmen. Wir weisen darauf hin, dass die Durchführung des Dijkstra-Algorithmus hierin nicht beschrieben ist, da dies auf dem Gebiet bekannt ist. In einer Ausführungsform wendet das GGS-Modul **107** den Dijkstra-Algorithmus auf mehrere zufällige Proben von Stationsknotengruppen im zeitabhängigen Graphen an. Die Anwendung des Dijkstra-Algorithmus resultiert in einer kürzesten Wegstruktur bei jeder Anwendung des Algorithmus.

[0107] Das GGS-Modul **107** bestimmt Punktzahlen **519** für jede Stationsknotengruppe in den Strukturen, die aus dem Dijkstra-Algorithmus resultieren. In einer Ausführungsform weist das GGS-Modul **107** einer gegebenen Stationsknotengruppe eine Punktzahl basierend auf der Anzahl von Stationsknotengruppen in der Unterstruktur zu, die sich unter der gegebenen Stationsknotengruppe befindet, der eine Punktzahl gegeben wird. Das GGS-Modul **107** erzeugt eine Gesamtpunktzahl für jede Stationsknotengruppe durch Summieren der Punktzahlen für jede Stationsknotengruppe von den unterschiedlichen Strukturen, die aus den Anwendungen des Dijkstra-Algorithmus resultieren.

[0108] Sobald eine Gesamtpunktzahl für jede Stationsknotengruppe erzeugt wurde, wählt **521** das GGS-Modul **107** Globalstationen basierend auf den Gesamtpunktzahlen aus. In einer Ausführungsform wählt das GGS-Modul **107** nur einen kleinen Prozentsatz von Stationsknotengruppen aus. Das GGS-Modul **107** ordnet die Globalstationen in absteigender Reihenfolge basierend auf den Gesamtpunktzahlen an, und wählt das obere eine Prozent der Globalstationen aus, was somit in einem Satz von Globalstationen **503** resultiert.

3. Vorberechnen von Direktverbindungsinformationen

[0109] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 2** führt das Direktverbindungsmodul **113** in der dritten Stufe des Vorberechnungsverfahrens eine Vorberechnung **203** der Direktverbindungsinformationen unter Verwendung des Transitgraphen durch. In einer Ausführungsform ist eine Direktverbindungsfahrt eine Fahrt von einer Quellenstation zu einer Zielstation ohne Wechsel. Obwohl eine Fahrt Halte an Zwischenstationen zwischen der Quellenstation und der Zielstation beinhalten kann, wird die Fahrt als eine Direktverbindungsfahrt angesehen, solange ein Wechsel nicht an einer Zwischenstation erfolgt. Hinsichtlich des Transitgraphen ist eine Direktverbindungsfahrt eine Fahrt ohne Wechsel, die von einem Stationsknoten im Transitgraphen abgeht und an einem Onboard-Knoten ankommt, der mit der Zielstation im Transitgraphen verbunden ist.

[0110] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 6** ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Berechnen von Direktverbindungsinformationen dargestellt, das durch ein Direktverbindungsmodul **113** ausgeführt wird. In einer Ausführungsform nimmt das Direktverbindungsmodul **113** als eine Eingabe den Transitgraphen von **FIG. 505**. Das Direktverbindungsmodul **113** bestimmt **601** (d. h. nutzt) den Transitgraphen und identifiziert Fahrten. Das heißt, dass das Direktverbindungsmodul **113** Wege im Transitgraphen identifiziert, die ein einzelnes Transitfahrzeug darstellen, das über einen Satz von Stationen zu gegebenen Zeiten des Tages fährt. Da nur ein einzelnes Fahrzeug auf der Reise verwendet wird, impliziert dies, dass die Reise eine Direktfahrt ist.

[0111] Das Direktverbindungsmodul **113** bestimmt **603** dann Transitlinien. In einer Ausführungsform ist eine Transitlinie ein Satz von Fahrten, die eine Quellenstation und eine Zielstation verbinden, wobei jede Fahrt in der Linie durch dieselben Stationen in derselben Reihenfolge oder Folge geht. Das heißt, jede Fahrt in der Transitlinie weist dieselbe Quellenstation, Zielstation und Satz von Zwischenstationen auf, die zwischen der Quellenstation und der Zielstation positioniert sind, wo Halte durch ein Transitfahrzeug durchgeführt werden, das mit der Fahrt verbunden ist. In einer Ausführungsform weist jede Fahrt in einer Transitlinie auch dieselbe Strafe auf. Wenn daher die Strafe der zwei Fahrten anders ist, dann würden die Fahrten nicht in derselben Transitlinie beinhaltet sein, selbst wenn die zwei Fahrten dieselbe Quellenstation aufweisen und in derselben Reihenfolge durch dieselben Stationen gehen. Wir weisen darauf hin, dass eine Fahrt in einer Transitlinie möglicherweise nur die Quellenstation und Zielstation beinhaltet, wenn kein Halt an einer Zwischenstation durchgeführt wird. Die Fahrten in der Transitlinie werden von einander basierend auf den Ankunfts-/Abfahrtszeiten von der Quellenstation, Abfahrtsstation und/oder Zwischenstationen unterschieden, an denen Halte entlang der Fahrt durchgeführt werden.

[0112] In einer Ausführungsform verbindet das Direktverbindungsmodul **113** für jede Fahrt in der Transitlinie einen Punkt Art mit jeder Station auf der Fahrt. Jede Station wird als ein Punkt entlang der Fahrt angesehen, und der Punkt Art beschreibt das Ereignis, das am Punkt eintritt. Das Direktverbindungsmodul **113** weist einen Punkt Art von „Einstiegspunkt“ für jeden Stationsknoten zu und weist einen Punkt Art von „Ausstiegspunkt“ für jeden Onboard-Knoten zu. Das Direktverbindungsmodul **113** weist dann jedem Knoten einen Punktindex zu und sortiert die Fahrt in einer kanonischen Reihenfolge unter Verwendung der Punkte, die mit jedem Knoten verbunden sind, basierend auf zwei Eigenschaften:

1. Es gibt keinen Weg von einem Punkt auf der Fahrt mit einem höheren Index zu einem Punkt mit einem niedrigerem Index.
2. Es gibt immer einen Weg von einem Einstiegspunkt mit einem niedrigeren Index zu einem Ausstiegspunkt mit einem höheren Index.

[0113] In einer Ausführungsform weist das Direktverbindungsmodul **113** jedem Knoten auch eine kumulative Strafe zu. Die kumulative Strafe beschreibt die Gesamtstrafe zwischen einem Einstiegspunkt und einem Ausstiegspunkt auf der Fahrt. Die kumulative Strafe wird jedem Knoten hinzugefügt, um das Bedürfnis zu umgehen, jeden Bogen zu analysieren, der ein Paar von Knoten verbindet, um die Strafe zwischen den Knoten zu bestimmen. Vielmehr kann das Direktverbindungsmodul **113** die kumulative Strafe durch Subtrahieren der kumulativen Strafe am Einstiegspunkt von der kumulativen Strafe am Ausstiegspunkt bestimmen. Sobald das Direktverbindungsmodul **113** die oben beschriebenen Informationen zur Fahrt integriert hat, werden die Fahrtinformationen gespeichert. Daher würde jeder Knoten im Transitgraphen, der mit einer Direktverbindungsfahrt verbunden ist, einem einzigen Triplet entsprechen. Jedes Triplet beinhaltet die Linien-ID, die die Transitlinie

beschreibt, die mit dem Knoten verbunden ist, eine Fahrt-ID, die die Fahrt von der Transitlinie beschreibt, und einen Punktindex.

[0114] Unter nun erfolgender Bezugnahme auf **Fig. 7** ist dort eine exemplarische Darstellung einer Transitlinie dargestellt, die einen Stationsknoten (z. B. A_S) darstellt, der die Quellenstation und eine Mehrzahl von Onboard-Knoten (z. B. B_O , D_O , E_O und F_O) darstellt, die durch Bögen **701** verbunden sind.

[0115] Jeder Knoten ist mit einem Punktindex **703** verbunden, der durch das Direktverbindungsmodul **113** zugewiesen wurde. **Fig. 7** veranschaulicht auch eine Strafe, die jedem Bogen zugewiesen wird, der die Strafe zwischen den Knoten beschreibt, die durch den Knoten verbunden sind. Nachfolgend wird eine Direktverbindungstabelle dargestellt, die Informationen über die optimale Fahrt beinhaltet. Die Transitlinie veranschaulicht die Speicherarchitektur der Direktverbindungsfahrten in der Direktverbindungsdatenbank **125**.

Beispiel einer Transitlinie

TGraph Stations-ID	A	B	D	E	F
Punktindex	0	1	2	3	4
Punkt Art	Einsteigen	Aussteigen	Aussteigen	Aussteigen	Aussteigen
Kumulative Strafe	0	1	6	7	11
Zeiten von Fahrt 23	8:00	8:15	8:30	9:45	10:00
Zeiten von Fahrt 55	9:00	9:15	9:30	9:50	10:15
Zeiten von Fahrt 60	11:00	11:15	12:00	12:30	13:00
Zeiten von Fahrt 100	11:30	12:00	13:00	13:15	13:30
Zeiten von Fahrt 18	12:00	12:15	12:45	13:00	15:00

[0116] Sobald alle Transitlinien vom Transitgraphen bestimmt wurden, analysiert **605** das Direktverbindungsmodul **113** die Transitlinien. Das Direktverbindungsmodul **113** bestimmt von den Transitlinien eine Direktverbindungstabelle. Die Direktverbindungstabelle ist eine Liste geordneter Paare von Stationen und ein Satz von Linien für jedes Paar, das Einsteigen an einer Quellenstation im Paar, und Aussteigen an einer Zielstation im Paar beschreibt. Im Allgemeinen bestimmt das Direktverbindungsmodul **113** Direktverbindungen **607** für die möglichen Paare von Stationen im Transitgraphen. Nachfolgend ist ein Beispiel einer Direktverbindungstabelle.

Beispiel einer Direktverbindungstabelle

Stationspaar	Linien-IDs
(A, B)	L_1 , L_4 , L_5 und L_9
(A, C)	L_2 und L_3
(B, A)	Entfällt
(B, C)	L_4 , L_5 und L_9
...	...

[0117] Die exemplarische Direktverbindungstabelle oben veranschaulicht eine Liste von Stationspaaren und die Liste von Linien-IDs von jedem Paar, die Transitlinien angeben, die Fahrten von der Quellenstation zur Zielstation im Paar beinhalten. Beispielsweise weist Stationspaar (A, B) verbundene Linien-IDs von L_1 , L_4 , L_5 und L_2 auf. Dies gibt an, dass die Transitlinien, die mit diesen Linien-IDs verbunden sind, Fahrten aufweisen, die es einer Person ermöglichen, an Station A einzusteigen und an Station B auszusteigen. Als ein anderes Beispiel betrachten wir Stationspaar (B, A), das keine Fahrten aufweist, bei denen eine Person an Station B einsteigen und an Station A aussteigen kann.

4. Wechselmusterberechnung

[0118] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 2** berechnet **205** das Wechselmusterberechnungs(TPC)-Modul **109** in der vierten Stufe des Vorberechnungsprozesses optimale Wechselmuster. Wie zuvor erwähnt, beschreibt ein Wechselmuster einer Reise die Folge von Transiffahrzeugwechselln an einer oder mehreren Sta-

tionen, die durchgeführt werden müssen, um den Zielort der Reise zu erreichen. Die optimalen Wechselsmuster beschreiben die Routen zum Erreichen einer Zielstation von einer Quellenstation mit minimalen Kosten. Wir weisen daraufhin, dass das optimale Wechselsmuster das Wechselsmuster einer Reise ist, die zu einer bestimmten Zeit und für eine Kostenmetrik optimal ist. Daher können unterschiedliche Reisen, die unterschiedlichen Wechselsmustern folgen, zu unterschiedlichen Zeiten des Tages optimal, und davon abhängig sein, ob die Optimierung auf der Dauer des Transits, der Menge an Gehen, der Anzahl von Wechsels oder anderer Metrik basiert. In einer Ausführungsform berechnet das TPC-Modul **109** Wechselsmuster gemäß drei unterschiedlichen Ausführungsformen: genaue Wechselsmusterberechnung ohne Globalstationen, genaue Wechselsmusterberechnung mit Globalstationen und heuristische Wechselsmusterberechnung mit Globalstationen. Jede Ausführungsform wird hierin beschrieben.

A. Genaue Wechselsmusterberechnung ohne Globalstationen

[0119] In einer Ausführungsform berechnet das TPC-Modul **109** Wechselsmuster ohne Verwendung von Globalstationen. Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 8** ist ein Ablaufdiagramm dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wird, um optimale Wechselsmuster **811** gemäß dieser Ausführungsform zu berechnen. In einer Ausführungsform wird das Verfahren, das in **Fig. 8** dargestellt ist, für jede Station zu allen anderen Stationen ausgeführt, um optimale Wechselsmuster zwischen jedem Paar von Stationen zu bestimmen. Zwecks einfacherer Abhandlung wird das Verfahren unter Bezugnahme auf eine Startstation (d. h. Quelle) und eine Zielstation beschrieben.

[0120] In einer Ausführungsform nimmt das TPC-Modul **109** den Transitgraphen **Fig. 505** als Eingabe. Das TPC-Modul **109** initialisiert **801** alle der Stationsknoten der Quellenstation im Transitgraphen. Das heißt, dass das TPC-Modul **109** ein Label mit Nullkosten jedem Stationsknoten der Quellenstation zuweist. Daher weist jeder Stationsknoten eine Dauer von Null und eine Strafe von Null auf, die in seinem Label aufgeführt sind. Wie zuvor erwähnt stellt jeder Stationsknoten der Station unterschiedliche Abfahrtszeiten von der Station dar.

[0121] Sobald die Stationsknoten initialisiert wurden, führt **803** das TPC-Modul **109** eine Pareto-Dijkstra-Suche von jedem Stationsknoten vom Startstandort zu jedem Knoten am Zielknoten aus. In einer Ausführungsform ist eine Pareto-Dijkstra-Suche eine Erkundung eines Graphen, die ähnlich einer Dijkstra-Suche ist, mit der Ausnahme, dass das TPC-Modul **109** Knoten mit einem multidimensionalen Label kennzeichnet, wie z. B. (Strafe, Dauer) anstatt einem einzelnen Kostenpunkt, was typisch für den Dijkstra-Algorithmus ist. Eine Pareto-Dijkstra-Suche hält für jeden Knoten einen Satz von pareto-optimalen Labeln aufrecht. Bei Dijkstra gibt es nur einen optimalen Kostenpunkt, während das Vorhandensein von multidimensionalen Labeln in einer Pareto-Dijkstra-Suche viele potenzielle optimale Label hervorbringt. Nehmen wir beispielsweise an, dass der Label-Satz aus einer Pareto-Dijkstra-Suche resultiert, wobei der Satz {(Strafe = 3, Dauer = 10), (Strafe = 5, Dauer = 7) und (Strafe = 8, Dauer = 2)} beinhaltet. In diesem Beispiel werden alle Label als optimal betrachtet, da kein Label hinsichtlich der multidimensionalen Kosten strenggenommen besser als ein anderes ist.

[0122] Als Ergebnis der Pareto-Dijkstra-Suche stellt das TPC-Modul **109** eine optimale Route von jedem Quellenknoten bereit, die zu einem speziellen Zielknoten an der Zielstation führt. Jede Route kann unterschiedliche Stationen beinhalten, bei denen ein Wechsel zwischen der Quellenstation und Zielstation eintritt. In einer Ausführungsform weist jeder Knoten in der Route ein entsprechendes Label-Set auf, das Kosten hinsichtlich Strafe und Dauer spezifiziert. Das TPC-Modul **109** weist die Label im Label-Satz basierend auf den Kosten zu, die mit den Bögen in der Route verbunden sind, wie durch den Transitgraphen beschrieben.

[0123] Für jede Station bestimmt **805** das TPC-Modul **109** die dominanten Label. In einer Ausführungsform wird jeder Knoten im Transitgraphen mit einem Satz von optimalen Labeln verbunden, nachdem eine Pareto-Dijkstra-Suche abgeschlossen wurde. Das TPC-Modul **109** bestimmt die optimalen Wege durch Zurückverfolgung von den Labeln an der Zielstation zur Quellenstation, von denen die optimalen Label bestimmt wurden.

[0124] In einer Ausführungsform entspannt das TPC-Modul **109** die Label-Sätze an jedem Onboard-Knoten. Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Entspannung der Label-Sätze, dass das TPC-Modul **109** Label von einem Label-Satz in einen anderen Label-Satz propagiert, der ihre Pareto-Optimalität erhält. Das heißt, wenn Label von einem ersten Label-Satz einem zweiten Label-Satz hinzugefügt werden, dass alle Label, die in allen Kostendimensionen von anderen Labeln dominiert werden, vom zweiten Label-Satz entfernt (d. h. gefiltert) werden. In einer Ausführungsform bestimmt das TPC-Modul **109**, dass ein Kostenpaar (d_1, p_1) für Weg 1 Kostenpaar (d_2, p_2) für Weg 2 dominiert, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$d_1 \leq d_2 \text{ und } p_1 \leq p_2$$

[0125] Das TPC-Modul A109 bestimmt, dass das Kostenpaar für Weg 1 das Kostenpaar für Weg 2 dominiert, wenn die Dauer von Weg 1 kleiner oder gleich der Dauer von Weg 2 ist, und die Strafe von Weg 1 kleiner oder gleich der Strafe von Weg 2 ist. Mit anderen Worten ausgedrückt dominiert Weg 1 Weg 2, wenn Weg 1 in allen Kostendimensionen besser als Weg 2 ist. Wenn beispielsweise Weg 1 eine Dauer von 3600 Sekunden und eine Strafe von 100 aufweist, während Weg 2 eine Dauer von 5400 Sekunden und eine Strafe von 200 aufweist, dann dominiert Weg 1 Weg 2 hinsichtlich Dauer und Strafe. Daher verhindert die Entspannung eines Label-Satzes, dass der zweite Label-Satz sich in der Anzahl erhöht, indem die dominierten Label entfernt werden. Vielmehr wird jeder Label-Satz in der Anzahl von Labeln unter Verwendung von Entspannung reduziert. Die nach der Entspannung im Label-Satz verbleibenden Label werden als die dominanten Label angesehen. In einer Ausführungsform dominiert das Label mit der früheren Ankunftszeit, wenn zwei Label hinsichtlich Dauer und Strafe gleich sind.

[0126] Betrachten wir beispielsweise die Onboard-Knoten an Station A. Das TPC-Modul **109** entspannt den Label-Satz an jedem Onboard-Knoten an Station A durch Verbreiten des Label-Satzes entlang virtueller Wartebögen. Beispielsweise verbreitet das TPC-Modul **109** ein Label (Strafe = 100, Dauer = 600) eines Onboard-Knotens an Station A bei Zeit „T“ zu allen Onboard-Knoten an derselben Station A. Das heißt, dass ein anderer Onboard-Knoten bei A zu Zeit „T + dt“ das Label (Strafe = 100, Dauer = 600 + dt) empfängt. Das TPC-Modul **109** entfernt dann Label im Label-Satz an jedem Onboard-Knoten, die durch andere Label dominiert werden, basierend auf dem oben beschriebenen Dominationsfaktor. In einer Ausführungsform werden die Label-Sätze an Stationsknoten zu den Onboard-Knoten auf ähnliche Weise entspannt, wie oben beschrieben.

[0127] Sobald die dominanten Label bestimmt wurden, berechnet **807** das TPC-Modul **109** die optimalen Wechselsmuster durch Rückverfolgung der optimalen Wege von jedem dominanten Label, das in jedem Onboard-Knoten verbleibt, zurück zum Quellenknoten, vom die Suche ausgeführt wurde. Das TPC-Modul **109** kann auch die Wechselsmuster für jeden optimalen Weg bestimmen, wenn der Weg bestimmt wird. Das heißt, dass das TPC-Modul **109** die Knoten analysiert, die in jedem optimalen Weg angegeben sind und bestimmt, welche Knoten mit Transitfahrzeugwechseln verbunden sind. Da jeder Knoten mit einer bestimmten Station verbunden ist, kann das TPC-Modul **109** das Wechselsmuster vom Weg basierend auf den Knoten extrahieren, in denen ein Wechsel eintrat.

[0128] Ein Beispiel des Bestimmens eines Wechselsmusters von einem optimalen Weg ist wie folgt. Nehmen wir eine Pareto-Dijkstra-Suche von Station A an, die optimale Wege zu Station F ergab. Einer der ausgegebenen optimalen Wege ist eine Folge von Knoten, die mit einer Folge von Stationen ABDEF verbunden ist. Das TPC-Modul **109** analysiert die Informationen, die mit jedem Knoten im Weg verbunden sind, und bestimmt Wechsel, die an den Stationen B und E eingetreten sind. Daher extrahiert das TPC-Modul **109** das Wechselsmuster von ABEF vom Weg.

[0129] Sobald die Wechselsmuster bestimmt sind, speichert **809** das TPC-Modul **109** das Wechselsmuster zur späteren Verwendung. In einer Ausführungsform werden die dominanten Label entsorgt, wenn die Wechselsmusterberechnung für jede Station abgeschlossen ist.

B. Genaue Wechselsmusterberechnung mit Globalstationen

[0130] In einer Ausführungsform berechnet das TPC-Modul **109** Wechselsmuster unter Verwendung der Globalstationen, die durch das Globalstationsauswahlmodul **107** bestimmt wurden. Um optimale Wechselsmuster für den Transitgraphen zu bestimmen, fährt das TPC-Modul **109** eine einzelne globale Suche für jede Globalstation aus, die durch das GSS-Modul **107** bestimmt wird. In einer Ausführungsform ist eine globale Suche eine Pareto-Dijkstra-Suche von einer Globalstation im Transitgraphen, um Wege zu allen anderen Knoten zu bestimmen, die von der Globalstation im Transitgraphen erreichbar sind. Das heißt, dass das TPC-Modul **109** eine vollständige Graph-Erkundung von jeder Globalstation ausführt, um die optimale Art zum Erreichen einer anderen Station im Transitgraphen zu bestimmen. In einer Ausführungsform gibt es eine oder mehrere optimale Arten, um eine Station im Transitgraphen von einer Globalstation basierend auf unterschiedlichen Kriterien, wie z. B. Zeitdauer einer Fahrt und Strafe, zu erreichen.

[0131] Unter nun erfolgender Bezugnahme auf **Fig. 9** ist ein Verfahren dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wird, um Wechselsmuster gemäß diesem Ansatz zu bestimmen. Das TPC-Modul **109** bestimmt **900** alle Globalstationen von der Routeninformationsdatenbank **125**. Im Allgemeinen führt **901** das TPC-Modul **109** für jede Globalstation eine einzelne globale Suche von der Globalstation aus. Insbesondere führt das TPC-Modul **109** eine einzelne Dijkstra-Suche im Transitgraphen von allen Knoten (Station und Onboard) von jeder Globalstation aus, um optimale Wege zu jedem anderen Knoten im Transitgraphen zu bestimmen, der

von der Globalstation erreicht werden kann. In einer globalen Suche werden alle Knoten der Globalstation mit Nullkosten in der Dauer- und Strafdimension initialisiert.

[0132] Für jeden optimalen Weg, der als ein Ergebnis der globalen Suche von einer Globalstation im Transitgraphen ausgegeben wird, bestimmt **903** das TPC-Modul **109** die globalen Wechselmuster von den ausgegebenen Wegen. In einer Ausführungsform sind die globalen Wechselmuster Wechselmuster, die aus einer globalen Suche resultieren. Das TPC-Modul **109** bestimmt die globalen Wechselmuster durch Analysieren der Knoten, die in jedem ausgegebenen Weg angegeben sind, und bestimmt, welche Knoten mit Transitfahrzeugwechseln verbunden sind. Da jeder Knoten mit einer bestimmten Station verbunden ist, kann das TPC-Modul **109** das Wechselmuster vom Weg basierend auf den Knoten extrahieren, in denen ein Wechsel eintrat, wie oben in der Abhandlung in Zusammenhang mit Wechselmusterberechnung ohne Verwendung von Globalstationen beschrieben.

[0133] Sobald die globalen Wechselmuster bestimmt werden, führt **905** das TPC-Modul **109** eine lokale Suche aus, um lokale Wechselmuster zu bestimmen. In einer Ausführungsform ist eine lokale Suche eine Suche von Stationsknoten einer Nicht-Globalstation (d. h. Lokalstation) basierend auf Kriterien. In einer Ausführungsform bestehen die Kriterien darin, den Transitgraphen zu erkunden, um die kürzesten Wege von den Stationsknoten von Lokalstationen zu anderen Stationen im Transitgraphen zu bestimmen, wo die kürzesten Wege keinen Wechsel an einer Globalstation im Weg beschreiben. Das heißt, dass das TPC-Modul **109** eine Suche von jedem Stationsknoten einer Lokalstation ausführt, um die optimalen Wege zu jeder anderen Station im Transitgraphen zu bestimmen.

[0134] Das TPC-Modul **109** bestimmt **907** dann die lokalen Wechselmuster von den optimalen Wegen. Im Allgemeinen ist ein lokales Wechselmuster ein Wechselmuster, das aus einer lokalen Suche resultiert. Das heißt, dass das TPC-Modul **109** die Knoten analysiert, die in jedem ausgegebenen Weg angegeben sind und bestimmt, welche Knoten mit Transitfahrzeugwechseln verbunden sind. Wie oben erwähnt, kann das TPC-Modul **109** das Wechselmuster vom Weg basierend auf den Knoten extrahieren, in denen ein Wechsel eintrat, da jeder Knoten mit einer bestimmten Station verbunden ist.

[0135] Das TPC-Modul **109** analysiert dann weiter jedes extrahierte Wechselmuster um zu bestimmen, ob das Wechselmuster einen passiven Teil beinhaltet. In einer Ausführungsform ist der passive Teil eines Wechselmusters die Reihe von Stationen, die einem Wechsel an einer Globalstation im Wechselmuster folgt. Das heißt, dass wenn das Wechselmuster angibt, dass ein Wechsel an einer Globalstation eintrat, die Folge von verbleibenden Stationen im Wechselmuster als passiver Teil des Wechselmusters angesehen wird. Der Teil des Wechselmusters, der an der Quellenstation startet und an der Globalstation endet, an der ein Wechsel eintrat, wird als aktiver Teil des Wechselmusters angesehen. Gemäß einer Ausführungsform beinhaltet der aktive Teil des Wechselmusters die Globalstation. In einer Ausführungsform wird die im Wechselmuster beinhaltete Globalstation als eine Zugriffsstation der Lokalstation angesehen, von der die lokale Suche ausgeführt wurde. Eine Zugriffsstation ist im Wesentlichen eine Globalstation, die mit einer Lokalstation verbunden ist und zulässt, dass ein Transitfahrzeug von der Lokalstation eine Zielstation erreicht, die ansonsten ohne die Zugriffsstation unerreichbar gewesen wäre. Daher umfasst jede Lokalstation eine oder mehrere Zugriffsstationen, was aus der Bestimmung der lokalen Wechselmuster resultiert. Wir weisen darauf hin, dass ein lokales Wechselmuster keinen passiven Teil aufweisen muss. Wenn kein Wechsel an einer Globalstation im lokalen Wechselmuster eintritt oder wenn die letzte Station im lokalen Wechselmuster eine Globalstation ist, wird das gesamte lokale Wechselmuster als aktiv angesehen.

[0136] Sobald die lokalen Wechselmuster bestimmt sind, speichert **909** das TPC-Modul **109** die globalen Wechselmuster und lokalen Wechselmuster in der Routeninformationsdatenbank **125**. In einer Ausführungsform wird nur der aktive Teil von jedem lokalen Wechselmuster gespeichert.

C. Heuristische Wechselmusterberechnung mit Globalstationen

[0137] In einer Ausführungsform berechnet das TPC-Modul **109** Wechselmuster des Transitgraphen unter Verwendung der Globalstationen, die durch das Globalstationsauswahlmodul **107** basierend auf unterschiedlicher Heuristik oder Ansätzen bestimmt werden. In einer Ausführungsform werden die folgenden Ansätze durch das TPC-Modul **109** verwendet, um Wechselmuster mit Globalstationen zu berechnen:

- i. Dauer, entspannt durch Strafe
- ii. Lokale Suchen nach einer Anzahl von Wechseln anhalten
- iii. Lokale Suche an Bord einer Globalstation anhalten
- iv. Untergruppe von Wechslemustern verwenden, um alle optimalen Fahrten zu berücksichtigen
- v. Kürzen mit anfänglichen und abschließendem Gehen

[0138] Jeder Ansatz ist nachfolgend detaillierter beschrieben.

- i. Dauer, entspannt durch Strafe

[0139] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 10A** ist ein Verfahren dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wird, um Wechslemuster basierend auf Kosten von Wegen zu bestimmen. Die folgende Beschreibung wird hinsichtlich einer Quellenstation und einer Zielstation beschrieben. In einer Ausführungsform ist entweder die Quellenstation oder Zielstation eine Globalstation. In einer Ausführungsform wird der nachfolgend beschriebene Prozess durch das TPC-Modul **109** für jede mögliche Quellenstation im Transitgraphen wiederholt. Das TPC-Modul **109** bestimmt dadurch einen dominanten Weg für jede Quellenstation vom Transitgraphen, was einen Satz von Wechslemustern für jede Quellenstation zum Ergebnis hat.

[0140] Zuerst führt das TPC-Modul **109** eine Pareto-Dijkstra-Suche **1001** auf dem Transitgraphen von der Quellenstation aus. Für jeden Knoten an der Quellenstation wird eine Pareto-Dijkstra-Suche ausgeführt, die in Wegen zu einem Knoten an jeder möglichen Zielstation resultiert. Daher resultiert die Dijkstra-Suche in einer Mehrzahl optimaler Wege von der Quellenstation zu jeder Zielstation.

[0141] Als ein Teil der Dijkstra-Suche bestimmt **1003** das TPC-Modul **109** einen dominanten Weg aus den Wegen, die aus der Dijkstra-Suche resultieren, basierend auf Kosten. Das TPC-Modul **109** analysiert die kumulativen Kosten eines Paares von Wegen um zu bestimmen, welcher Weg dominant ist. In einer Ausführungsform weist ein dominanter Weg die niedrigsten Kosten hinsichtlich Dauer und Strafe im Vergleich zu den Kosten aller anderen, aus der Suche resultierenden Wege auf.

[0142] Gemäß einer Ausführungsform bestimmt das TPC-Modul **109** während der Pareto-Dijkstra-Suche, dass ein Kostenpaar (d_1, p_1) für Weg 1 Kostenpaar (d_2, p_2) für Weg 2 dominiert, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

1. $d_1 \leq d_2$ und $p_1 \leq p_2$ oder
2. $d_1 < d_2$ und $p_1 \geq p_2$ und $[d_1 + A \cdot (p_1 - p_2)] \leq d_2$ wobei $A = 8$

[0143] In der ersten Bedingung, wie oben beschrieben, das TPC-Modul **109**, dass das Kostenpaar für Weg 1 das Kostenpaar für Weg 2 dominiert, wenn die Dauer von Weg 1 kleiner oder gleich der Dauer von Weg 2 ist. Zusätzlich muss die Strafe von Weg 1 kleiner als oder gleich der Strafe von Weg 2 sein, damit das Kostenpaar für Weg 1 das Kostenpaar für Weg 2 dominiert.

[0144] Wenn das TPC-Modul **109** bestimmt, dass die Dauer von Weg 1 kleiner als die Dauer von Weg 2 ist, doch die Strafe von Weg 1 größer als oder gleich der Strafe von Weg 2 ist, führt das TPC-Modul **109** eine Berechnung basierend auf der Summierung der Dauer von Weg 1 aus, mit dem Unterschied, dass die Strafe von Weg 1 und Weg 2 mit einem Gewichtungsfaktor A multipliziert wird. In einer oben dargestellten Ausführungsform $A = 8$. In alternativen Ausführungsformen können jedoch andere Werte verwendet werden. Wenn das Ergebnis der Berechnung kleiner als oder gleich der Dauer von Weg 2 ist, dann bestimmt das TPC-Modul **109**, dass Weg 1 Weg 2 dominiert. Nehmen wir beispielsweise an, dass Weg 1 eine Dauer von 3600 Sekunden und eine Strafe von 500 aufweist, während Weg 2 eine Dauer von 4000 Sekunden und eine Strafe von 100 aufweist. In diesem Beispiel gilt Bedingung 2, da die Dauer von Weg 1 kleiner als die Dauer von Weg 2 ist, doch die Strafe von Weg 1 größer als die Strafe von Weg 2 ist. Zum Bestimmen des dominanten Wegs wird die Formel für Bedingung 2 verwendet. Unter Verwendung der obigen Formel dominiert Weg 1 Weg 2 nicht, da $[3600 + 8 \cdot (500 - 100)]$ gleich 4400 ist, was nicht kleiner als oder gleich der Dauer von Weg 2 ist. Daher dominiert Weg 1 in diesem Beispiel Weg 2 nicht. Sobald der dominante Weg bestimmt ist, bestimmt **1005** das TPC-Modul **109** das Wechslemuster des dominanten Weges.

[0145] Da der oben beschriebene Prozess für jede mögliche Quellenstation im Transitgraphen beschrieben ist, resultiert das TPC-Modul **109** in einem Satz von optimalen Wechslemustern, die dann gespeichert werden.

ii. Lokale Suchen nach einer Anzahl von Wechseln anhalten

[0146] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 10B** ist dargestellt, dass ein Verfahren durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wird, um Wechselmuster zu einer Globalstation basierend auf der Heuristik zu bestimmen, dass in stark bevölkerten Bereichen eine Route für eine Fahrt im Allgemeinen an einer Globalstation mit minimaler Anzahl von Wechseln ankommt, und dass in ländlichen Bereichen wenige Stationen sind, an denen ein Wechsel unter einer großen Anzahl von Stationen stattfindet. In einer Ausführungsform arbeitet die Heuristik unter der Bedingung, dass eine Fahrt eine Globalstation innerhalb von zwei Transitfahrzeugwechseln erreichen muss (d. h. Transitfahrzeuge werden während der Fahrt verwendet). In anderen Ausführungsformen können anderen Anzahlen von Wechseln verwendet werden.

[0147] Zum Bestimmen eines Wechselmusters zu einer Globalstation führt **1007** das TPC-Modul **109** eine lokale Suche von einem gegebenen Startknoten im Transitgraphen aus. Wie oben beschrieben, ist eine lokale Suche eine Suche von einem Stationsknoten an einer lokalen Station, um optimale Wege zu anderen Stationen im Transitgraphen zu bestimmen. Das TPC-Modul **109** verfolgt die kürzesten Wege im Transitgraphen beginnend vom Startknoten, und strahlen zu anderen Knoten im Transitgraphen aus. Das TPC-Modul **109** bestimmt **1009** vom Weg, ob eine Globalstation innerhalb von zwei Transitfahrzeugwechseln ausgehend vom Startknoten erreicht wird. Insbesondere beginnend vom Startknoten bestimmt das TPC-Modul **109** für jeden nachfolgenden Knoten entlang der Route im Transitgraphen, ob ein Wechsel eintritt oder ob die mit dem Knoten verbundene Station eine Globalstation ist. Wenn höchstens zwei Wechsel vor dem Erreichen einer Globalstation eintreten, wird der Weg von Stationen, die zur Globalstation führen, als ein Wechselmuster angesehen.

[0148] Nehmen wir beispielsweise einen Startknoten an einer Lokalstation A im Transitgraphen an, der in einem Weg beinhaltet ist, auf dem die erste Globalstation entlang des Weges Station G ist. Der Knoten an Station A ist durch eine Reihe von Knoten verbunden, die den Weg von ABCDEFG darstellen. Nehmen wir an, dass keine Wechsel von Station A zu Station G eintreten. Ausgehend von Station A verfolgt das TPC-Modul **109** den Weg zurück und bestimmt, ob jede nachfolgende Station eine Globalstation ist, oder ob ein Wechsel an der nachfolgenden Station eintritt. Da kein Wechsel zwischen Stationen A und G eintritt, stoppt das TPC-Modul **109** in diesem Beispiel mit dem Durchqueren des Wegs, sobald es Station G erreicht. Daher ist das Wechselmuster für Weg ABCDEFG AG, was angibt, dass keine Wechsel zwischen Stationen A und G eintreten.

[0149] Wenn ein Wechsel an einer Nicht-Globalstation eintritt, verfolgt das TPC-Modul **109** das Eintreten des Wechsels und wiederholt den Prozess, bis entweder eine Globalstation im Weg erreicht wird oder der dritte Wechsel an einer Nicht-Globalstation eintritt. Wenn das TPC-Modul **109** bestimmt, dass eine Globalstation innerhalb von zwei Wechseln erreicht wird, dann wird das mit dem Weg verbundene Wechselmuster bestimmt. Wenn das TPC-Modul **109** bestimmt, dass eine Globalstation nach einem Maximum von zwei Wechseln oder beim dritten Wechsel nicht erreicht wird, dann wird der unter Analyse stehende Weg ignoriert, und das TPC-Modul **109** wiederholt den oben beschriebenen Prozess für eine andere Nicht-Globalstation. Das TPC-Modul **109** führt die Analyse für jeden Knoten an jeder Nicht-Globalstation im Transitgraphen aus, um den Satz von Wechselmustern zu einer Globalstation zu bestimmen.

[0150] Nehmen wir als ein Beispiel den oben verwendeten Weg ABCDEFG an, und nehmen wir an, dass G eine Globalstation ist, und ein Transitfahrzeugwechsel bei C und F eintritt. Ausgehend von Station A bestimmt das TPC-Modul **109**, ob jede nachfolgende Station eine Globalstation ist, oder ob ein Wechsel an der nachfolgenden Station eintritt. Da ein Wechsel an Station C eintritt, verfolgt das TPC-Modul **109** den Wechsel. Da nur ein zweiter Wechsel an Station F vor dem Erreichen der Globalstation G eintritt, betrachtet das TPC-Modul **109** den Weg ACFG als ein Wechselmuster von Quellenstation A zu Globalstation G.

[0151] Nehmen wir nun an, dass Wechsel an Stationen B, C und F eintreten. In diesem Beispiel stoppt das TPC-Modul **109** die Erweiterung des Wegs zu Globalstation G, sobald der dritte Wechsel erreicht ist, da drei Transitfahrzeugwechsel vor dem Erreichen von Globalstation G eintreten. Im Allgemeinen entfernt das TPC-Modul **109** durch Anhalten der Erweiterung des Weges beim dritten Wechsel viele Wege von der Berücksichtigung, und gestaltet die Vorberechnung von optimalen Wegen im Wesentlichen schneller.

[0152] Da der oben beschriebene Prozess für jede paarweise Kombination von Lokalstationen und Globalstationen im Transitgraphen wiederholt wird, resultiert das TPC-Modul **109** in einem Satz von Wechselmustern, die dann gespeichert werden.

iii. Lokale Suche an Bord einer Globalstation anhalten

[0153] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 10C** ist ein Verfahren dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wurde, um Wechselmuster von Lokalstationen zu Globalstationen zu bestimmen. Wir weisen daraufhin, dass zwecks einfacherer Abhandlung die folgende Beschreibung unter Bezugnahme auf die Bestimmung eines Wechselmusters von einem einzelnen Knoten im Transitgraphen abgehandelt wird. Es wird Fachleuten auf dem Gebiet offensichtlich sein, dass die folgende Abhandlung für jeden Stationsknoten an einer Lokalstation im Transitgraphen wiederholt werden kann, um Wechselmuster zu Globalstationen zu bestimmen.

[0154] In einer Ausführungsform führt **1011** das TPC-Modul **109** eine lokale Suche von einem gegebenen Stationsknoten einer Lokalstation aus. Das TPC-Modul **109** verfolgt die kürzesten Wege im Transitgraphen, der vom Stationsknoten beginnt und zu anderen Knoten im Transitgraphen ausstrahlt. Das TPC-Modul **109** bestimmt **1013** vom Weg, wenn ein Onboard-Knoten an einer Globalstation erreicht ist. Genauer ausgedrückt bestimmt das TPC-Modul **109** beginnend vom Stationsknoten für jeden nachfolgenden Knoten entlang des Wegs im Transitgraphen, ob der nächstfolgende Knoten im Transitgraphen ein Onboard-Knoten ist, der mit einer Globalstation verbunden ist. Sobald ein Onboard-Knoten an einer Globalstation erreicht ist, bestimmt **1015** das TPC-Modul **109** die Wechselmuster des Wegs (einschließlich des Stationsknotens), die zum Onboard-Knoten an der Globalstation führen. In einer Ausführungsform ist Zusammenfügen erforderlich, wie nachfolgend beschrieben wird, um eine Reise zu berücksichtigen, die nicht an der Globalstation anhält.

[0155] Nehmen wir beispielsweise den Weg ABCDEFG von Lokalstation A zu Globalstation G an, die oben mit Wechseln an Stationen C und D beschrieben ist. Nehmen wir an, dass der mit Station G verbundene Knoten im Weg ein Onboard-Knoten ist. Das TPC-Modul **109** überquert den Weg, bis ein Onboard-Knoten erreicht wird, der mit einer Globalstation verbunden ist. Daher wird in diesem Fall der Weg von ACDG als ein Wechselmuster angesehen, da Station G der erste Onboard-Knoten einer Globalstation ist, die im Weg erreicht wird. Wenn keine Wechsel zwischen Stationen A und G eintreten, wäre das Wechselmuster für den Weg AG, was bedeutet, dass ein Wechsel nicht eintritt. Wie oben erwähnt, beinhalten Wechselmuster die Start- und Zielstationen einer Fahrt.

[0156] Als ein weiteres Beispiel nehmen wir an, dass Station E auch eine Globalstation ist, und der mit Station D verbundene Knoten im Weg ein Onboard-Knoten ist. In diesem Fall überquert das TPC-Modul **109** den Weg, bis der erste Onboard-Knoten einer Globalstation erreicht ist, der in diesem Fall Station D ist, anstatt der Onboard-Knoten an Station G. Daher wird ein Wechselmuster von ACDE erzeugt.

[0157] Da der oben beschriebene Prozess für jede paarweise Kombination von Lokalstationen und Globalstationen im Transitgraphen wiederholt wird, resultiert das TPC-Modul **109** in einem Satz von Wechselmustern, die dann gespeichert werden.

iv. Untergruppe von Wechselmustern verwenden, um alle optimalen Fahrten zu berücksichtigen

[0158] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 10D** ist ein Verfahren dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wurde, um Wechselmuster von allen Stationen im Transitgraphen zu bestimmen. Der in **Fig. 10D** dargestellte Ansatz wird verwendet, um die Anzahl von Fahrten von einer Quellenstation zu einer Zielstation zu reduzieren. Im Allgemeinen wird der folgende Ansatz verwendet, um den Satz aller Wechselmuster von optimalen Fahrten zu einer Zielstation durch eine Untergruppe zu ersetzen, die ausreichend ist, um alle optimalen Fahrten zur Zielstation abzudecken. In einer Ausführungsform wird die nachfolgende Beschreibung für jedes Stationspaar im Transitgraphen wiederholt, um Wechselmuster zwischen den Stationen zu bestimmen.

[0159] In einer Ausführungsform führt **1017** das TPC-Modul **109** eine lokale Suche von jedem Knoten einer Quellenstation (d. h. Quellenstation) zu einem Knoten an einer Zielstation im Transitgraphen durch. Von der Suche resultiert das TPC-Modul **109** in einem Satz von optimalen Wegen von der Quellenstation zur Zielstation an unterschiedlichen Abfahrtszeiten von der Quellenstation. Das TPC-Modul **109** bestimmt **1019** ein Wechselmuster von der Quellenstation zur Zielstation für jeden optimalen Weg, der von der Suche erhalten wurde, wodurch ein Satz von optimalen Wechselmustern ausgebildet wird. Der Satz von optimalen Wechselmustern soll alle möglichen Fahrten von der Quellenstation zur Zielstation für einen bestimmten Tag abdecken.

[0160] Das TPC-Modul **109** bestimmt **1021** dann redundante Fahrten, die durch die Wechselmuster im Satz impliziert werden. Das heißt, für jedes Wechselmuster, das eine Fahrt von einer Quellenstation zu einer Zielstation darstellt, bestimmt das TPC-Modul **109** andere Wechselmuster von derselben Quellenstation zur Ziel-

station. Das TPC-Modul **109** bestimmt, ob eines von den Wechselmustern in der Lage ist, die Fahrt von der Quellenstation zur Zielstation abzudecken, um das Bedürfnis nach dem Aufrechterhalten beider Wechselmuster zu beseitigen. In einer Ausführungsform decken eine oder mehrere Wechselmuster eine Fahrt bei Zeit T ab, wenn für jeden Service-Tag der Fahrt eine zweite Fahrt bei Zeit T vorhanden ist, die ein Wechslemuster vom bestimmten Satz mit einem identischen Wechslemuster aufweist, sodass die zweite Fahrt vom Startstandort nicht früher als die erste Fahrt startet, und Kosten aufweist, die die Kosten der ersten Fahrt um nicht mehr als einen Schwellenwert überschreiten.

[0161] Nehmen wir beispielsweise das Szenario für eine gegebene Fahrt an, bei der viele optimale Fahrten während des Tages stattfinden, mit einem Wechslemuster von ABC für die Fahrt. Unter diesen optimalen Fahrten befindet sich eine Fahrt, die von Station A um 22:40 startet und an Station um 23:25 ankommt, mit einer Strafe von 200. Zusätzlich ist eine gelegentliche einzelne Fahrt mit einem Wechslemuster von ADC vorhanden. Die einzelne Fahrt startet von Station A um 22:38 und kommt an Station C um 23:22 an, und weist eine Strafe von 180 auf. Obwohl die einzelne Fahrt ein besseres Ergebnis für einen Benutzer ist, der um 22:38 abfahren möchte, wird die einzelne Fahrt zugunsten der Fahrt abgelehnt, die mit Wechslemuster ABC verbunden ist, da sie eine Fahrt bereitstellt, die genommen werden kann, wann immer die abgelehnte Fahrt genommen werden könnte, da sie von derselben Quellenstation zu einem späteren Zeitpunkt abfährt. Zusätzlich liegen die höchsten Kosten der Fahrt mit Wechslemuster ABC (d. h. spätere Ankunftszeit von 3 Minuten und eine zusätzliche Strafe von 20) unter dem Schwellenwert.

v. Kürzen mit anfänglichem und abschließendem Gehen

[0162] In einer Ausführungsform verwendet das TPC-Modul **109** die Anfangs- und Gehheuristik, um Wege zwischen Stationen zu entfernen, die optimal scheinen, aber nicht optimal während der Anfragezeit sind, wenn mehrere Stationen in der Nähe der Start- und Zielstandorte durch den Transitserver **100** in Betracht gezogen werden. Nehmen wir beispielsweise Busstationen A und B an, die 400 Meter auseinanderliegen und nicht von derselben Buslinie angefahren werden. Aufgrund dieser Heuristik wird das Gehen von A nach B bei Anfragezeit als optimal bestimmt. Ohne die Heuristik jedoch ist das optimale Ergebnis von einer lokalen Suche von Station A eine Fahrt, die Station A verlässt und Station B über einen langen Umweg über Station C erreicht. Daher ermöglicht diese Heuristik, dass das TPC-Modul **109** die Transittfahrt von A nach B kürzt, da es optimal ist, einfach von Station A zu Station B zu gehen.

[0163] Unter nun erfolgender Bezugnahme auf **Fig. 10E** ist dort ein Verfahren dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wird, um die Kosten des Gehens von einer lokalen Quellenstation zu einer nahegelegenen Lokalstation zu bestimmen. Wir weisen darauf hin, dass der nachfolgend beschriebene Prozess für jede Lokalstation im Transitgraphen beschrieben, um Wechslemuster zu bestimmen. In einer Ausführungsform führt **1023** das TPC-Modul **109** eine lokale Suche von einer gegebenen Lokalstation aus. Von der lokalen Suche bestimmt **1025** das TPC-Modul **109** alle Stationen in der Nähe der Lokalstation. In einer Ausführungsform bestimmt das TPC-Modul **109** nahegelegene Stationen bis zu einer radialen Distanz, wie z. B. eine Meile. Für jede nahegelegene Station fügt **1027** das TPC-Modul **109** Kosten-Label hinzu. Insbesondere für jeden Stationsknoten an der nahegelegenen Station fügt das TPC-Modul **109** ein Kosten-Label hinzu, das den Kosten des Gehens von der Transitstation zur nahegelegenen Station entspricht, an der die Suche ausgeführt wurde. In einer Ausführungsform beschreiben die Kosten des Gehens einen geschätzten Zeitbetrag, der benötigt wird, um von der Transitstation zur nahegelegenen Station zu gehen.

[0164] Nehmen wir beispielsweise eine Lokalstation A. Das TPC-Modul **109** führt eine lokale Suche von Station A aus, um alle nahegelegenen Stationen zu bestimmen, die sich innerhalb eines Radius von zwei Meilen befinden. Die Suche resultiert in einer Liste von Stationen M, K und G, die sich innerhalb des Radius von zwei Meilen von Station A befinden. Das TPC-Modul **109** fügt dann ein Label zu jeder der nahegelegenen Stationen hinzu, das die Kosten des Gehens von Station A zur nahegelegenen Station angibt. Nehmen wir beispielsweise an, dass eine Person im Mittel 1800 Sekunden (0,5 Stunden) zum Gehen von einer Station A zu Station M benötigt. Das TPC-Modul **109** würde ein Label zu Station M hinzufügen, das Kosten von 1800 Sekunden angibt.

[0165] In einer Ausführungsform führt das TPC-Modul **109** einen ähnlichen Prozess aus, der oben für jede Globalstation beschrieben ist. Für eine gegebene Globalstation führt das TPC-Modul **109** eine globale Suche aus, um alle nahegelegenen Stationen im Transitgraphen zu bestimmen, die von der Globalstation erreichbar sind. Für jede nahegelegene Station fügt das TPC-Modul **109** Kosten zu den Stationsknoten der nahegelegenen Station hinzu. In einer Ausführungsform fügt das TPC-Modul **109** eine Strafe an der Globalstation basierend auf einer Wechselstrafe hinzu, die mit dem Knoten und Gehkosten verbunden ist.

[0166] Unter nun erfolgender Bezugnahme auf **Fig. 10E** ist dort ein Verfahren dargestellt, das durch das TPC-Modul **109** ausgeführt wird, um die Kosten des Gehens von einer nahegelegenen Station zu einer Zielstation zu bestimmen. Beispielsweise kann es für eine gegebene Fahrt von einer Quellenstation zu einer Zielstation, anstatt direkt von der Quellenstation zur Zielstation zu fahren, optimal sein, von der Quellenstation zu einer Station in der Nähe der Zielstation zu wechseln und von der nahegelegenen Station zur Zielstation zu gehen.

[0167] In einer Ausführungsform umfasst die Zielstation für eine Reise eine Ankunftsschleife. Eine Ankunftsschleife ist eine Kopie des Onboard-Knotens der Zielstation und ihrer durch Bögen verbundenen Label. Das TPC-Modul **109** entspannt **1029** die Bögen an der Ankunftsschleife, die die Label der Fahrten entfernt, die an ihrem jeweiligen Onboard-Knoten optimal sind, aber eigentlich nicht optimal sind, da es eine bessere Fahrt hinsichtlich Kosten gibt, die früher ankommt.

[0168] Das TPC-Modul **109** führt dann eine lokale Suche **1031** an der Zielstation aus, um nahegelegene Stationen zu bestimmen. Das TPC-Modul **109** erweitert **1033** die Ankunftsschleife der Zielstation durch Hinzufügen von Bögen von den Onboard-Knoten der nahegelegenen Stationen zum Stationsknoten der Zielstation. In einer Ausführungsform stellen die Bögen Gehbögen dar, die das Gehen von der nahegelegenen Station zur Zielstation beschreiben.

[0169] Durch Wiederholen des oben beschriebenen Prozesses für jede Lokalstation hat das TPC-Modul **109** einen Satz von Wechselmustern zum Ergebnis, die dann gespeichert werden.

5. Wechselmusterkompression

[0170] In einer Ausführungsform ist die letzte Phase des Vorberechnungsprozesses optional. Das Wechselmusterkompressionsmodul **111** komprimiert die Wechselmuster, die vom TPC-Modul **109** bestimmt wurden, zu effizienten Speicherzwecken, anstatt das vollständige Wechselmuster, wie oben beschrieben, zu speichern. Im Allgemeinen segmentiert das Wechselmusterkompressionsmodul **111** jedes Wechselmuster in kleinere Teile. Durch Komprimieren der Wechselmuster werden die Wechselmuster im Allgemeinen in kleinere Teile aufgeteilt, die aufgrund ihrer Größe eine hohe Redundanz aufweisen und auf effiziente Art komprimiert werden können, wodurch eine effizientere Speicherung der Teile ermöglicht wird.

[0171] Unter nun erfolgender Bezugnahme auf **Fig. 11** ist ein Prozessablauf dargestellt, der durch das Wechselmusterkompressionsmodul **111** ausgeführt wird, um Wechselmuster zu komprimieren. Der nachfolgend beschriebene Prozess wird für jedes Wechselmuster durch das oben beschriebene TPC-Modul **109** bestimmt.

[0172] In einer Ausführungsform nimmt das Wechselmusterkompressionsmodul **111** als Eingabe ein Wechselmuster **1100**. Das Wechselmusterkompressionsmodul **111** filtert **1101** optional das Wechselmuster, um jede wiederholte Folge von Stationen im Wechselmuster durch eine einzelne Instanz der Station zu ersetzen. Nehmen wir beispielsweise das folgende Wechselmuster einer Reise an: Einsteigen an Station A, Ankommen an Station B, Ankommen an Station C, Einsteigen an Station D und Ankommen an Station F. Mit anderen Worten ausgedrückt ist das Wechselmuster der Reise ABBCDF. Alle Einstiegsereignisse im Wechselmuster stellen Stationsknoten vom Transitgraphen dar und alle Ankunftsereignisse stellen Onboard-Knoten im Transitgraphen dar. In diesem Beispiel bestimmt das Wechselmusterkompressionsmodul **111**, dass Station B wiederholend ist, und ersetzt die Folge „BB“ durch die einzelne Instanz „B“. Das Wechselmusterkompressionsmodul **111** unterscheidet im Wesentlichen nicht zwischen Stations- oder Onboard-Knoten. Daher wird das resultierende Muster ABCDF anstatt ABBCDF. In alternativen Ausführungsformen wird das Wechselmuster nicht gefiltert, um wiederholte Folgen von Stationen in Wechselmustern zu entfernen.

[0173] Unabhängig davon, ob das Wechselmuster gefiltert wird, bestimmt **1103** das Wechselmusterkompressionsmodul **111** den Wechsel eines Muster-Suffix für eine gegebene Station im Wechselmuster. In einer Ausführungsform beschreibt ein Wechselmuster-Suffix eine Folge von zwei Stationen im Wechselmuster, das der Station voranging, die mit dem Suffix verbunden war. Im Wesentlichen kann jede Station innerhalb des Wechselmusters mit Ausnahme von jeder Station, der zwei Stationen vorangehen, als eine Zielstation angesehen werden, und kann dadurch einen verbundenen Wechsel-Suffix aufweisen. Daher bestimmt **1105** das Wechselmusterkompressionsmodul **111** für jede Station in einem Wechselmuster, dem zwei Stationen vorangehen, ein Wechselmuster-Suffix, das die zwei Stationen im Wechselmuster beschreibt, die der Station vorangehen, die mit dem Suffix verbunden sind. Die Wechselmuster-Suffixe von einer Quellenstation zu einer Zielstation werden als ein Wechselmuster-Suffix-Satz für das Muster angesehen. Sobald die Wechselmuster-Suffixe bestimmt sind, speichert **1107** das Wechselmusterkompressionsmodul **111** jedes Wechselmuster-Suffix und seine verbundene Station, was in einem komprimierten Wechselmuster **1109** resultiert. Durch Speichern des

Wechselmusters auf diese Weise speichert das Wechselmusterkompressionsmodul **111** Segmente des Wechselmusters.

[0174] Ein Beispiel des Speicherschemas für das oben beschriebene komprimierte Wechselmuster von ABCDF ist nachfolgend dargestellt.

Wechselmuster-Suffix	Station
{C,D}	F
{B,C}	D
{A,B}	C

[0175] Wie oben dargestellt, sind die Stationen vom Wechselmuster, die ein verbundenes Wechselmuster-Suffix aufweisen, F, D und C. Das Wechselmuster-Suffix beschreibt die Folge von zwei Stationen im Wechselmuster, das verwendet wird, um an der verbundenen Station anzukommen. Die Sammlung der oben dargestellten Wechselmuster-Suffixe wird als der Wechselmuster-Suffix-Satz für Quellenstation A und Zielstation F angesehen. Obwohl dieses Schema die aktuellen Wechselmuster verliert, kann das Wechselmuster von Station A bis F vom oben dargestellten Speicherschema rekonstruiert werden.

[0176] Als ein weiteres Beispiel, wenn ein Wechselmuster von QYGLMKR gegeben ist, wird ein Beispiel des Speicherschemas für das komprimierte Wechselmuster von QYGLMKR unten dargestellt.

Wechselmuster-Suffix	Station
{M,K}	R
{L,M}	K
{G,L}	M
{Y,G}	L
{Q,Y}	G

[0177] In diesem Beispiel sind die Stationen des Wechselmusters QYGLMKR, die ein verbundenes Wechselmuster-Suffix aufweisen, R, K, M, L und G. Jedes Wechselmuster-Suffix beschreibt die Folge von zwei Stationen im gefilterten Wechselmuster, das verwendet wird, um an der Station anzukommen, die mit dem Suffix verbunden ist. Beispielsweise beschreibt die Folge von Stationen M und K für Station R die Reihenfolge der Stationen, die Station R im gefilterten Wechselmuster vorangingen. Für jede andere Station in der Tabelle beschreibt das entsprechende Wechselmuster-Suffix die Folge der zwei Stationen, die der Station vorangehen, die mit dem Wechselmuster-Suffix verbunden sind. Die kollektiven Wechselmuster-Suffixe sind der Wechselmuster-Suffix-Satz für die Quellenstation Q und Zielstation R.

[0178] Bei Anfragezeit kann das Wechselmuster vom Wechselmuster-Suffix-Satz rekursiv rekonstruiert werden. Dieser Prozess wird nachfolgend detaillierter beschrieben. Obwohl die Wechselmuster selbst verloren gehen, wird die Menge an Speicherplatz bedeutend reduziert.

III. Anfragezeitverarbeitung

[0179] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 1**, verwendet das Anfrageauflösungsmodul **115**, wie oben erwähnt, die Wechselmusterberechnungen, die durch das Vorberechnungsmodul **103** bereitgestellt werden, um optimale Reiserouten als Reaktion auf Benutzeranfragen zu bestimmen. Durch Verwenden der Wechselmuster, die während Vorberechnungen bestimmt wurden, führt das Anfrageauflösungsmodul **115** den minimalen Betrag von Berechnungen durch, der zum Erfüllen einer Anfrage notwendig ist. Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst das Anfrageauflösungsmodul **115** ein Lokalstationsbestimmungsmodul **117**, ein Anfragegrapherzeugungsmodul **119**, ein Anfragegraphanalysemodul **121**, ein Fahrdienstmodul **123** und ein Wechselmusterkonstruktionsmodul. Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 12** umfasst in einer Ausführungsform der Prozess der Verarbeitung einer Anfrage des Anfrageauflösungsmoduls **115** die folgenden Funktionsstufen:

- 1200:** Bestimmen von nahegelegenen Stationen
- 1201:** Konstruieren von Wechslemustern
- 1203:** Erzeugen von Anfragegraphen
- 1205:** Erweitern von Anfragegraphen
- 1207:** Auswerten von Anfragegraphen
- 1209:** Bestimmen von optimalen Reisen
- 1211:** Bereitstellen von optimalen Reisen

[0180] Jede Funktionsstufe der Verarbeitung einer Anfrage wird nachfolgend weiter beschrieben.

1. Bestimmen von nahegelegenen Stationen

[0181] Fig. 13 veranschaulicht einen Prozessablauf für die erste Stufe der Verarbeitung einer Anfrage durch Bestimmen von **1200** nahegelegenen Stationen in Bezug auf eine Quelle(d. h. Start)-Standort, wie durch das Lokalstationsbestimmungs(LSD)-Modul **117** gemäß einer Ausführungsform ausgeführt. In einer Ausführungsform empfängt das Lokalbestimmungs(LSD)-Modul **117** eine Eingabe als Anfrage **1300**. Die Anfrage **1300** wird von einem Benutzer für öffentliche Transitanweisungen empfangen. In einer Ausführungsform beinhaltet die empfangene Anfrage **1300** mindestens einen Quellenstandort und einen Zielstandort für eine Reise. Ein Quellenstandort ist der aktuelle geografische Standort des Benutzers oder jeder Standort, den der Benutzer möglicherweise wünscht, um die Fahrt zu starten, während der Zielstandort der geografische Standort des Zielorts ist. Die Quellen- und Zielstandorte können Standorte von Transitstationen sein oder nicht. In einer Ausführungsform kann der Quellen- und Zielstandort in Form einer Adresse vorliegen. Die empfangene Anfrage kann auch eine Abfahrtszeit und/oder ein -datum vom Quellenstandort oder Ankunft am Zielstandort beinhalten. Beispielsweise kann eine Anfrage aussagen „Ich möchte eine Route von 801 California Street, Mountain View, CA 94041 um 14 Uhr nach 555 California Street, San Francisco, CA 94104.“

[0182] Sobald die Anfrage **1300** empfangen ist, bildet **1301** das LSD-Modul **117** den Quellenstandort und den Zielstandort in Breiten- und Längengradkoordinaten entsprechend jedem Standort ab. Das LSD-Modul **117** bestimmt **1303** (d. h. lokalisiert) dann alle Stationen innerhalb einer radialen Distanz von den Breiten- und Längengradkoordinaten des Quellen- und Zielstandorts. In einer Ausführungsform ist die radiale Distanz auf zwei Meilen eingestellt, sodass alle Stationen, die sich innerhalb eines Radius von zwei Meilen vom Quellen- und Zielstandort befinden, bestimmt werden. Unterschiedliche radiale Distanzen können in anderen Ausführungsformen verwendet werden.

[0183] Nach dem Lokalisieren der nahegelegenen Stationen erzeugt das LSD-Modul **117** eine Quellenstationsliste **1305** von Stations-IDs, die alle Stationen in der Nähe des Quellenstandorts umfassen, und erzeugt eine Zielstationsliste **1307**, die Stations-IDs von allen Stationen in der Nähe des Zielstandorts umfasst. Zusätzlich werden die Gehkosten vom Quellenstandort zu jeder seiner verbundenen naheliegenden Stationen ebenfalls in der Quellenstationsliste bereitgestellt. Auf ähnliche Weise werden die Gehkosten von jeder naheliegenden Station zum Zielstandort ebenfalls in der Zielstationsliste bereitgestellt.

2. Wechslemusterkonstruktion

[0184] In der zweiten Stufe von Anfragezeitverarbeitung konstruiert **1203** das Wechslemusterkonstruktionsmodul **135** Wechslemuster. Die nachfolgende Abhandlung von Wechslemusterkonstruktion basiert auf der Annahme, dass die Wechslemuster unter Verwendung von Globalstationen berechnet wurden. In einer Ausführungsform empfängt das Wechslemusterkonstruktionsmodul **135** zum Konstruieren der Wechslemuster als Eingabe die Quellenstationsliste **1303** und die Zielstationsliste OO106 als Eingabe. Das Wechslemusterkonstruktionsmodul **135** bestimmt Wechslemuster von den Quellenstationen in der Quellenstationsliste OO104 zu den Zielstationen in der Zielstationsliste OO106. Die Bestimmung der Wechslemuster ist davon abhängig, ob eine Quellenstation eine Global- oder Lokalstation ist.

[0185] In einer Ausführungsform für jede Globalstation in der Quellenstationsliste **1303** bestimmt (d. h. ruft ab) das Wechslemusterkonstruktionsmodul **135** von den gespeicherten globalen Wechslemustern die globalen Wechslemuster, die ein Wechslemuster von der Globalstation zu jeder Station in der Zielstationsliste OO106 beschreiben. Als ein Beispiel nehmen wir eine Quellenstation A an, die als eine Globalstation angesehen wird, und nehmen eine Zielstation L an, die entweder eine Global- oder Lokalstation sein kann. Das Wechslemusterkonstruktionsmodul **135** bestimmt von den gespeicherten globalen Wechslemustern die globalen Wechslemuster, die an Station A beginnen und an Station L enden, was in einem oder mehreren globalen Wechsel-

mustern von Station A zu Station L resultiert. Dieser Prozess wird für jede Globalstation in der Quellenstationsliste **1303** zu jeder Station in der Zielstationsliste OO106 wiederholt.

[0186] In einer Ausführungsform bestimmt das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** für jede Lokalstationsliste **1303** einen Satz von Zugangsstationen, die mit jeder Lokalstation verbunden sind. Wie oben erwähnt, ist eine Zugangsstation eine Globalstation, die mit einer Lokalstation verbunden ist. Sobald der Satz von Zugangsstationen von jeder Lokalstation bestimmt ist, bestimmt das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** für jede Lokalstation die lokalen Wechselsmuster von der Lokalstation zu jeder von ihren Zugangsstationen. Das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** bestimmt dann die globalen Wechselsmuster von jeder Zugangsstation zu jeder Zielstation in der Zielstationsliste OO106. Daher ist das Wechselsmuster von einer Lokalstation zu einer Zielstation eine Kombination eines lokalen Wechselsmusters und eines globalen Wechselsmusters.

[0187] Wir weisen jedoch darauf hin, dass wenn die optionale Wechselsmusterkompression ausgeführt wurde, die Wechselsmuster selbst nicht gespeichert werden. Daher dekomprimiert das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** die Wechselsmuster, um ein vollständiges Wechselsmuster für die Reise zu erstellen. Mit anderen Worten ausgedrückt erstellt das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** rekursiv die globalen Wechselsmuster und lokalen Wechselsmuster unter Verwendung des Wechselsmuster-Suffix-Satzes, der mit der Quellenstation und Zielstation verbunden ist. Wie zuvor erwähnt, beschreibt der Wechselsmuster-Suffix-Satz den Satz von Suffixen, die mit einem Paar von Stationen verbunden sind. Jedes Suffix im Satz beschreibt eine Folge von zwei Stationen, die Transitfahrzeugwechsel an zwei Stationen vor dem Erreichen der Station darstellen, die mit dem Wechselsmuster-Suffix verbunden sind.

[0188] Beispielweise bestimmt das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** bei einer gegebenen Quellenstation A und einer Zielstation F zum Bestimmen des Wechselsmusters für das Paar den Satz von Suffixen von A bis F. Nehmen wir das Szenario an, bei dem eines der Suffixe, die mit Station F verbunden sind, (D, E) ist. Dies gibt an, dass ein Wechselsmuster von A bis F vorhanden ist, das als A, ..., D, E, F endet.

[0189] Zum Erstellen des nächsten Schenkels des Wechselsmusters bestimmt das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** den Wechselsmuster-Suffix-Satz, der mit den zwei Stationen verbunden ist, die im vorherigen Wechselsmuster-Suffix aufgeführt sind. Die Wechselsmuster-Suffixe werden dann miteinander verkettet, was in einer Untergruppe des Wechselsmusters resultiert. Das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** wiederholt das Abrufen von Wechselsmuster-Suffix-Sätzen, bis das Wechselsmuster vom Quellenstandort zur Zielstation konstruiert ist.

[0190] Unter Fortsetzung des obigen Beispiels, das dahingehend dargestellt ist, dass es ein Wechselsmuster von A bis F, endend als A, ... D, E, F ist, ruft das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** dann den Satz von Suffixen für das Paar (A, E) ab, das in D endet. In diesem Szenario kann das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** Suffixe (C, D) oder (B, D) für Station D abrufen. Das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** ruft dann die Suffixe für Paar (A, D) ab, die in C enden, und Suffixe für Paar (A, D), die in B enden. Das kann darin resultieren, dass Suffixe (A, C) und (B, C) abgerufen werden. Das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** bestimmt dann die Suffixe für Paar (B, D), die in B enden, was in Suffix (A, B) resultieren kann, und die Suffixe für Paar (B, C), die in B enden, was in Suffix (A, B) resultieren kann. Das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** verkettet dann die Wechselsmuster-Suffixe, um Wechselsmuster von Quellenstation A zu Zielstation F auszubilden. Im oben beschriebenen Beispiel ist der Satz von Wechselsmustern von A bis F (A, B, D, E, F), (A, B, C, D, E, F) und (A, C, D, E, F).

3. Anfragegrapherzeugung

[0191] In der dritten Stufe der Verarbeitung einer Anfrage erzeugt **1205** das Anfragegrapherzeugungs(QGG)-Modul **119** einen Anfragegraphen. Im Allgemeinen beinhaltet ein Anfragegraph nur Transitinformationen in Bezug auf die Anfrage, und ist zeitabhängig. Der Anfragegraph wird zum Bestimmen der optimalen Route vom Quellenstandort zum Zielstandort verwendet. Der Anfragegraph minimiert die Berechnung, die zum Bestimmen einer optimalen Route benötigt wird, da die im Anfragegraphen beinhalteten Informationen nur mit der Anfrage in Zusammenhang stehen. In einer Ausführungsform beinhaltet der Anfragegraph den Quellenstandort und den Zielstandort in Bezug auf die Anfrage, Knoten, die Stationen darstellen und Bögen, die Stationen verbinden. Die Stationen im Anfragegraphen stellen Transitstationen dar, die in Wegen beinhaltet sind, um den Zielstandort vom Quellenstandort zu erreichen, wo Transitfahrzeugwechsel eintreten. Jeder Bogen im Anfragegraphen stellt eine Direktverbindung zwischen dem Paar von Stationen dar, die die Knoten verbindet. Daher kann der Bogen eine oder mehrere Zwischenstationen darstellen, an denen Halte (aber keine Wechsel) entlang des Wegs zum Erreichen der Zielstation durchgeführt werden, die durch den Bogen verbunden ist. Zusätzlich kann ein Bogen

das Gehen von einer Station darstellen, an der ein Fahrzeug zu einer Station abfuhr, an der ein Einstieg in ein Fahrzeug erfolgt.

[0192] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 14** ist ein Prozessablauf des QGG-Moduls **119** zum Erzeugen eines Anfragegraphen in Zusammenhang mit einer empfangenen Anfrage dargestellt. Das QGG-Modul **119** nimmt als Eingabe die Wechselsmuster **1400**, die mit dem Quellenstandort und Zielstandort verbunden sind, wie durch das Wechselsmusterkonstruktionsmodul **135** bestimmt.

[0193] Sobald der Satz von Wechselsmustern für jedes Stationspaar (d. h. Quellenstation und Zielstation) empfangen ist, konstruiert **1403** das QGG-Modul **119** den Anfragegraphen unter Verwendung des Satzes von Wechselsmustern für jedes Stationspaar. Das QGG-Modul **119** konstruiert den Anfragegraphen durch Darstellen **1401** des Satzes von Wechselsmustern von jedem Stationspaar als eine Reihe von Knoten. Das heißt, jede in einem Wechselsmuster angegebene Station wird als ein Knoten im Anfragegraphen dargestellt, beim die Knoten in der Reihenfolge sequenziert sind, die durch das Wechselsmuster angegeben ist. Das QGG-Modul **119** verbindet **1403** dann jedes Paar von Stationen gemäß der Folge, die im Wechselsmuster angegeben ist, mit einem Bogen. Die Bogen stellen die Fahrtrichtung im Anfragegraphen dar, und verbinden Paare von Knoten im Anfragegraphen. In einer Ausführungsform stellt jeder Bogen entweder Gehen zu einer Station oder Fahren zu einer Station dar, während man sich auf einem Transitfahrzeug befindet. Die Darstellung von jedem Bogen kann im Anfragegraphen in Abhängigkeit davon bereitgestellt werden, ob die sich wiederholenden Folgen in Wechselsmustern während Wechselsmusterkompression herausgefiltert wurden. im Kontext dieser Abhandlung wurden die Wechselsmuster von sich wiederholenden Folgen gefiltert.

[0194] In einer Ausführungsform weist das QGG-Modul **119** die Knoten-ID von jedem Knoten im Anfragegraphen als die Stations-ID vom Transitgraphen zu, mit Ausnahme von zwei künstlichen Knoten, die den Quellenstandort und den Zielstandort darstellen. Das QGG-Modul **119** gibt diesen Knoten eine generische ID, wie z. B. „1“ für Startstandort und „2“ für den Zielort, gemäß einer Ausführungsform. Das QGG-Modul **119** verbindet die Knoten, die den Quellenstandort und Zielstandort mit anderen Knoten im Anfragegraphen verbinden, durch Bögen, die Gehen darstellen. Sobald das QGG-Modul **119** das Zuweisen einer Identifikation zu jedem Knoten abgeschlossen hat, ist der Anfragegraph **1405** fertiggestellt.

[0195] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 15** ist ein Beispiel eines Anfragegraphen **1500** von einem Quellenstandort dargestellt, der durch den Knoten mit der Kennzeichnung „1“ dargestellt ist, wobei der Zielstandort durch den Knoten mit der Kennzeichnung „2“ dargestellt ist. Obwohl nur drei Wechselsmuster vom Quellenstandort zur Zielstation dargestellt sind, versteht sich, dass der Anfragegraph jede Anzahl von Wechselsmustern aufweisen kann.

[0196] In diesem Beispiel wird jede Reise durch die Wechselsmusterlegende **1501** bezeichnet. Wie in der Wechselsmusterlegende **1501** dargestellt, ist Wechselsmuster 1 mit durchgehenden Bögen verbunden, Wechselsmuster 2 ist mit gepunkteten Bögen verbunden und Wechselsmuster 3 ist mit gestrichelten Bögen verbunden. Der Anfragegraph **1500** veranschaulicht, dass Wechselsmuster 1 ein Wechselsmuster von {1ABC2} aufweist. Daher stellt das Wechselsmuster Gehen vom Quellenstandort zu Station A, Transit (d. h. entweder unter Verwendung eines Transitfahrzeugs oder Gehen) von Station A zu Station B, Transit von Station B zu Station C, und Gehen von Station C zum Zielstandort dar. Wechselsmuster 2 weist andererseits ein Wechselsmuster {1DEFG2} auf. Daher gibt der Anfragegraph **1500** für Wechselsmuster 2 Gehen vom Startstandort zu Station D, Transit von D zu Station E, Transit von Station E zu Station F, Transit von Station F zu Station G und Gehen von Station G zur Zielstation an. Wechselsmuster 3 weist ein Muster von {1AFC2} auf, und kann auf eine ähnliche Art wie Fahrten 1 und 2 beschrieben werden. Wie zuvor erwähnt, ist die mit jedem Bogen verbundene Form von Transit nicht durch den Anfragegraphen dargestellt und der Anfragegraph beschreibt nicht, ob ein Wechsel an einer Station im Anfragegraphen eintritt.

4. Anfragegrapherweiterung

[0197] Wir weisen darauf hin, dass die vierte Stufe der Verarbeitung einer Anfrage optional davon abhängig ist, ob der optionale Schritt von Wechselsmusterkompression ausgeführt wird und Wechselsmuster von ihrer wiederholenden Sequenz von Stationen während der Wechselsmusterkompression gefiltert werden. Wie oben erwähnt, wird beim Kontext der Abhandlung jedoch davon ausgegangen, dass Wechselsmuster gefiltert wurden. In der vierten Stufe der Verarbeitung einer Anfrage erweitert **1205** das Anfrageanalyse(QGA)-Modul **121** den durch das QGG-Modul **119** erzeugten Anfragegraphen. Wie zuvor erwähnt, beinhaltet der Anfragegraph nur Knoten, die Stationen darstellen, und Bögen, die die Knoten verbinden. Der Anfragegraph beschreibt in seiner unerweiterten Form nicht, ob ein Bogen Transit mit über Gehen oder ein Transitfahrzeug beschreibt. Durch

Erweitern des Anfragegraphen kann das QGA-Modul **121** mögliche Routen zwischen jeder Station in einem Wechselsmuster bestimmen, das beschreibt, ob Wechsel durchgeführt werden, und die Ankunfts-/Abfahrtszeit an jeder Station, da jede Route eine Instanziierung eines Wechselsmusters zu einer spezifischen Zeit ist.

[0198] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 16** ist ein Prozessablauf des QGA-Moduls **121** zum Erweitern des Anfragegraphen dargestellt. Das QGA-Modul **121** nimmt als Eingabe den Anfragegraphen **1405**, der durch das QGG-Modul **119** erzeugt ist. Das QGA-Modul **121** erweitert **1600** jeden Knoten im Anfragegraphen mit Ausnahme des Quellenstandorts und des Zielstandorts in einen Stationsknoten und einen Onboard-Knoten. Daher wird jeder Knoten im Anfragegraphen nun durch zwei Knoten im erweiterten Anfragegraphen dargestellt.

[0199] Berücksichtigen wir nun die Ausführungsform, bei der Wechselsmuster nicht von wiederholten Folgen von Stationen in Wechselsmustern während Wechselsmusterberechnung gefiltert werden. In dieser Ausführungsform resultiert die Konstruktion des Anfragegraphen in einem erweiterten Anfragegraphen, da die Wechselsmuster angeben, ob ein Wechsel an einer Station eingetreten ist. Beispielsweise gibt beim Wechselsmuster von **ABBCDF** dieses Wechselsmuster an, dass eine Person an Station B angekommen ist und aus einem Transitfahrzeug an Station B ausgestiegen, und in ein anderes Transitfahrzeug in Station B eingestiegen ist. Daher wird in dieser Ausführungsform der Anfragegraph mit einem Stationsknoten und Onboard-Knoten für Station B erzeugt. Der Anfragegraph wird im Wesentlichen in seiner erweiterten Form konstruiert. Daher sind in dieser Ausführungsform die oben beschriebenen Lehren hinsichtlich der Erweiterung eines Anfragegraphen während der Anfragegrapherzeugung beinhaltet.

5. Anfragegrapherweiterung

[0200] Sobald jeder Knoten erweitert wurde, bewertet **1207** das QGA-Modul **121** den erweiterten Anfragegraphen. In einer Ausführungsform bestimmt **1601** das QGA-Modul **121** Direktverbindungen zwischen Stationen im erweiterten Anfragegraphen unter Verwendung der Direktverbindungs-**1603**-informationen, die in der Direktverbindungsdatenbank **125** gespeichert sind. Das heißt, dass für jedes Wechselsmuster im Anfragegraphen das QGA-Modul **125** von den gespeicherten Direktverbindungsinformationen bestimmt, ob es eine Direktverbindung von der Quellenstation zur nächstfolgenden Station gibt, von der nächstfolgenden Station zu ihrer nächstfolgenden Station usw. bis zur Zielstation. In einer Ausführungsform bestimmt das QGA-Modul **125** nur Direktverbindungen, die zu einer Zeit größer als oder gleich der angegebenen Zeit abfahren, da die empfangene Anfrage eine Abfahrtszeit beinhaltet. Wenn die empfangene Anfrage eine Ankunftszeit am Zielort beinhaltet, bestimmt das QGA-Modul **125** Direktverbindungen, die an der Zielstation zu einer Zeit kleiner als oder gleich der Ankunftszeit ankommen. Daher ruft das QGA-Modul **125** nur Direktverbindungen ab, die relevant für die Anfrage sind.

[0201] Im Allgemeinen kann das QGA-Modul **125** eine oder mehrere Direktverbindungen von zwischen jedem Paar von Stationen in einem Wechselsmuster aus bestimmen. Jede Direktverbindung kann eine andere Fahrt zwischen dem Paar von Stationen darstellen. Beispielsweise können die Fahrten voneinander differenziert werden, weil in jeder Direktverbindungsfahrt unterschiedliche Transitfahrzeuge verwendet werden. Daher können die Direktverbindungen Fahrten zwischen dem Paar von Stationen beinhalten, die dieselben Ankunfts-/Abfahrtszeiten an jeder Station der Fahrt aufweisen, aber aufgrund der Tatsache unterschiedlich sind, dass unterschiedliche Transitfahrzeuge für jede Fahrt verwendet werden. Zusätzlich können die Direktverbindungsfahrten basierend auf Fahrplaninformationen differenziert werden, die mit den Fahrten verbunden sind. Beispielsweise kann ein einzelnes Transitfahrzeug mehrere Direktverbindungsfahrten zwischen einem Paar von Stationen ausführen, und die Direktverbindungsfahrten können den Fahrplan für jede Fahrt spezifizieren.

[0202] Nehmen wir beispielsweise das Wechselsmuster **ABC** an. Zum Bestimmen der Direktverbindungen, die mit den Stationen im Wechselsmuster verbunden sind, ruft das QGA-Modul **125** (d. h. holt) die Direktverbindungen von Station A zu Station B ab. Das QGA-Modul **125** ruft dann die Direktverbindungen von B zu C ab, die aus B nach der Ankunft an Station B von Station A abfahren. Wir weisen darauf hin, dass eine Direktverbindung zwischen einer Station inhärent Stationen angeben kann, in denen das mit der Fahrt verbundene Transitfahrzeug Halte ausführt, bevor es die Station erreicht, an der ein Wechsel stattfindet. Beispielsweise kann die Direktverbindung von Station A zu Station B zwischen diesen Stationen Halte an Stationen E und F beinhalten.

[0203] Sobald die Direktverbindungsfahrten abgerufen sind, fügt das QGA-Modul **125** die Direktverbindungen zusammen, um die Reise von der Quellenstation zur Zielstation zu erzeugen. Zusammenfügen (d. h. verketteten) von einer oder mehreren Direktverbindungen umfasst das Zusammenlegen der Direktverbindungen, um die Reise von der Quellenstation zur Zielstation abzudecken.

[0204] Nehmen wir beispielsweise erneut das Wechselsmuster ABC an. Das QGA-Modul **125** würde Direktverbindungsfahrten von Station A zu Station B und von Station B zu Station C bei einer Abfahrtszeit nach der Ankunft an Station B bestimmen. Nehmen wir an, dass die Direktverbindungsfahrt von A nach B bei B um 1:00 ankommt. Um die Fahrten zusammenzufügen, bestimmt das QGA-Modul **125** eine Direktverbindungsfahrt, die Station B für Station C zu einer Zeit nach 1:00 verlässt, um dem Benutzer genügend Zeit zum Wechseln in das Fahrzeug an Station B zu geben, das zu Station C fährt.

[0205] Sobald die Direktverbindungen zwischen Stationen bestimmt wurden, fügt **1605** das QGA-Modul **125** Bögen zu den Knoten im erweiterten Anfragegraphen hinzu, um die Fahrten der Wechselsmuster darzustellen, die durch eine oder mehrere Direktverbindungen ausgebildet werden. In einer Ausführungsform weist der erweiterte Anfragegraph vier Typen von Bögen ähnlich der Abhandlung des Transitgraphen auf, und verwendet dieselbe, oben abgehandelte Bezeichnung, um Transitereignisse zu beschreiben, die zwischen Stationen eintreten.

[0206] In einer Ausführungsform sind der Quellenstandort und Zielstandort jeweils mit dem Stationsknoten der Quellenstation und dem Onboard-Knoten der Zielstation verbunden, um Gehen zur Station darzustellen. Für alle anderen Stationen fügt das QGA-Modul **125** Bögen zwischen Knoten im oben beschriebenen Schema basierend auf den Fahrten hinzu, die über Direktverbindungsanfragen bestimmt sind. Zum Darstellen eines Wechsels, der an jeder Station im erweiterten Anfragegraphen eintritt, für ein Paar von Stationen, fügt das QGA-Modul **125** einen Bogen zwischen dem Onboard-Knoten der Quellenstation und dem Stationsknoten der Station hinzu, in der der Wechsel eintritt. Nehmen wir beispielsweise im Wechselsmuster ABC das Paar AB an, das eine Person beschreibt, die in ein Fahrzeug an Station A einsteigt und zu Station B reist, während die Person das Fahrzeug an Station B verlässt, um in ein anderes Fahrzeug an Station B einzusteigen. In diesem Beispiel würde der Onboard-Knoten an Station A mit dem Stationsknoten an Station B verbunden werden, was bedeutet, dass ein Wechsel eintritt.

[0207] Wir weisen daraufhin, dass die Direktverbindungsinformationen, die zum Erzeugen der Fahrten verwendet werden, Fahrplaninformationen aufweisen, die Ankunfts-/oder Abfahrtszeiten an Stationen beschreiben. Daher sind die Bögen im erweiterten Anfragegraphen inhärent mit den Fahrplaninformationen verbunden. Wenn beispielsweise zwei Bögen zwischen Stationsknoten A und Onboard-Knoten B vorhanden sind, kann der erste Bogen das Abfahren an Station A um 8:00 und Ankommen an Station B um 12:00 darstellen, während der zweite Bogen das Abfahren an Station A um 10:00 und Ankommen an Station B um 11:00 darstellen kann. Die Bögen können auch Ankünfte/Abfahrten an Stationen angeben, wo Halte während der Direktverbindungsfahrt durchgeführt werden.

[0208] Unter nun erfolgender Bezugnahme auf **Fig. 17** ist ein Beispiel eines erweiterten Anfragegraphen **1700** vom Anfragegraphen **1500** veranschaulicht, dargestellt in **Fig. 15**. Wir weisen darauf hin, dass die Fahrtlegende **1701** drei Fahrten veranschaulicht: Reise 1, Reise 2 und Reise 3. Reise 1 wird durch den Weg von durchgehenden Bögen dargestellt und entspricht Wechselsmuster 1 vom Anfragegraphen **1500**. Reisen 2 und 3 entsprechen jeweils Wechselsmustern 2 und 3 vom Anfragegraphen **1500**.

[0209] Wie im Anfragegraphen **1700** dargestellt, veranschaulichen Reisen 1, 2 und 3 Wechsel, die an Stationen basierend auf der Beschreibung der Bedeutung von Bögen eintreten, die die unterschiedlichen Typen von Knoten verbinden. Insbesondere veranschaulichen Reisen 1 und 3 das Auftreten eines einzelnen Wechsels, während Reise 2 das Auftreten von zwei Wechsels veranschaulicht. Unter Verwendung von Reise 1 veranschaulicht der erweiterte Anzeigegraph beispielsweise eine Person, die vom Startstandort „1“ geht, und zur Station A geht und in ein Transitfahrzeug an Station A einsteigt. Das Transitfahrzeug fährt zu Station B, wo der Benutzer das Transitfahrzeug verlässt und in ein zweites Transitfahrzeug an Station B einsteigt, das das Eintreten des Wechsels darstellt. Von Station B fährt das zweite Transitfahrzeug zu Station C, wo der Benutzer aus dem zweiten Transitfahrzeug aussteigt und zum Zielort geht. Für Reise **3** veranschaulicht der erweiterte Anzeigegraph einen Wechsel, der an Station E und an Station F eintritt, was durch die Bögen bezeichnet wird, die einen Onboard-Knoten mit einem Stationsknoten an beiden Stationen E und F verbinden.

[0210] Wir weisen darauf hin, dass das QGA-Modul **125** für jedes Wechselsmuster im Anzeigegraphen **1500** eine oder mehrere Reisen von der Quellenstation zur Zielstation finden würde. im erweiterten Anfragegraphen **1700** ist zwecks einfacherer Abhandlung nur eine einzelne Reise für jedes Wechselsmuster dargestellt. Es versteht sich jedoch, dass die Folge von Stationen für jedes Wechselsmuster mehr als eine einzelne Fahrt zwischen den Stationen aufweisen kann, die unterschiedliche Fahrten von der Quellenstation zur Zielstation darstellen. Beispielsweise können die Stationen, die mit Fahrt **1** verbunden sind, drei Sätze von unterschiedlichen Bögen

aufweisen, die zwischen den Wechsellustern von $1A_S B_O B_S C_{O2}$ verbinden, wobei jeder Bogen eine andere Fahrt darstellt.

6. Bestimmen von optimalen Fahrten

[0211] Unter nun erfolgreicher Bezugnahme auf **Fig. 18** ist ein Prozessablauf dargestellt, der durch das QGA-Modul **121** ausgeführt wird, um optimale Reisen zu bestimmen **1209**. In einer Ausführungsform bestimmt das QGA-Modul **121** optimale Reisen unter Verwendung des erweiterten Anzeigegraphen **1607**. Das QGA-Modul **121** beginnt durch Initialisieren **1801** der Startstandorts des Anzeigegraphen. Durch Initialisieren des Startstandorts stellt das QGA-Modul **121** Nullkosten beim Startstandort ein. Für jeden Bogen im erweiterten Anzeigegraphen wendet **1803** das QGA-Modul Kosten an. Kosten werden auf den Bogen angewandt, der Gehen vom Quellenstandort zur Quellenstation darstellt, und Kosten werden auch auf den Bogen angewandt, der Gehen von der Zielstation zum Zielstandort darstellt. Kosten werden dann auf die verbleibenden Bögen im erweiterten Anfragegraphen angewandt.

[0212] Das QGA-Modul **121** wendet **1805** dann eine Pareto-Dijkstra-Berechnung an, um optimale Reisen im erweiterten Anfragegraphen basierend auf den Kosten der Fahrten zu erwähnen, wie durch die Direktverbindungstabelle **1807** spezifiziert. In einer Ausführungsform zeigt das Ergebnis der Pareto-Dijkstra-Berechnung eine Mehrzahl von optimalen Reisen **1809**, die als divers angesehen werden. Das QGA-Modul **121** bestimmt eine Mehrzahl von Reisen mit niedrigen Kosten, die sich darin unterscheiden, dass sie entlang geografisch unterschiedlicher Wege verlaufen, was bedeutet, dass die Wechsellustern der Reisen unterschiedlich sind. In einer anderen Ausführungsform bestimmt das QGA-Modul **121** Reisen mit Fahrzeugvielfalt. Das bedeutet, dass das QGA-Modul **121** eine optimale Reise bestimmt, die per Bus durchgeführt wird, eine optimale Reise per U-Bahn und eine optimale Reise per Straßenbahn. Schlussendlich kann das QGA-Modul **121** optimale Reisen bestimmen, die eine temporale Vielfalt darin aufweisen, dass die Reisen in der Route ähnlich sind, doch die Reisen (d. h. ankommen und/oder abfahren) zu unterschiedlichen Zeiten stattfinden. Beispielsweise können zwei Reisen mit derselben Route dieselben Kosten aufweisen, jedoch zu Zeiten starten, die fünfzehn Minuten auseinanderliegen.

[0213] In einer alternativen Ausführungsform kann das QGA-Modul **121** den erweiterten Anfragegraphen unter Verwendung anderer Techniken erkunden, anstatt eine Pareto-Dijkstra-Berechnung anzuwenden, um die optimalen Reisen zu bestimmen. In einer Ausführungsform verwendet das QGA-Modul **121** eine einzelne Kriteriums-Graph-Suchberechnung, wie z. B. den Dijkstra-Algorithmus. Da der Dijkstra-Algorithmus nur ein einzelnes Kriterium verwendet, um den Anfragegraphen auszuwerten, während die Anwendung von Pareto-Dijkstra den Anfragegraphen hinsichtlich mehrerer Kriterien bewertet, resultiert die Anwendung des Dijkstra-Algorithmus in einer schnelleren Bestimmung der optimalen Reisen. Das Verwenden des Dijkstra-Algorithmus zum Bewerten des Anfragegraphen resultiert jedoch in einem Satz von optimalen Reisen, die weniger vielfältig als der Satz von optimalen Reisen sind, der aus der Anwendung der Pareto-Dijkstra-Berechnung aufgrund der Bewertung des Anfragegraphen nur unter Verwendung eines einzelnen Kriteriums, wie z. B. Zeit oder Fahrzeugwechsel, resultiert.

[0214] In einer weiteren Ausführungsform kann das QGA-Modul **121** auch andere Techniken zum Beschleunigen der Bewertung des Anfragegraphen verwenden, um die optimalen Reisen zu bestimmen. Beispielsweise kann das QGA-Modul **121** zielgerichtete Suchen anwenden, die Fachleuten auf dem Gebiet als A*-Suchalgorithmus bekannt sind, oder andere Heuristik, um die Geschwindigkeit des Bestimmens der optimalen Reisen und/oder der Vielfalt der Ergebnisse in Abhängigkeit von den Anforderungen des Systems zu verbessern.

7. Bereitstellen von optimalen Reisen

[0215] In der letzten Stufe zum Verarbeiten einer Anfrage stellt **1211** das Fahrdienstmodul **123** dem Benutzer die optimalen Reisen bereit. In einer Ausführungsform formatiert das Fahrdienstmodul **123** die optimalen Reisen zur Anzeige auf einer Ergebnisseite. Jetzt bezugnehmend auf **Fig. 19**, unter nun erfolgreicher Bezugnahme ist ein Beispiel einer Ergebnisseite **1900** dargestellt. Die Anfrageneingabeabschnitt **1901** veranschaulicht Textboxen, in die der Quellenstandort und Zielstandort eingegeben werden. Der Vorschlagsroutenabschnitt **1903** veranschaulicht die optimalen Reisen, die durch den Transitserver **100** bestimmt sind. Wie in den Vorschlagsrouten **1903** zu sehen, stellte der Transitserver **100** drei optimale Reisen bereit, die eine ähnliche Transitudauer aufweisen, jedoch zu unterschiedlichen Zeiten starten. Der Reiseinformationsabschnitt **1905** veranschaulicht die Route der Reise. im dargestellten Beispiel ist die Route für Reise 1 dargestellt. Die Anweisungen geben an, vom Startstandort zur Caltrain-Station zu gehen. Obwohl nicht dargestellt, werden Anweisungen durch Drücken des Detailknopfs **1907** Anweisungen gegeben, wie die Caltrain-Station vom Startstandort zu erreichen ist.

Dann geben die Anweisungen von der Caltrain-Station an, in den Zug **233** einzusteigen, der von der Mountain View Caltrain-Station um 8:59 abfährt und in der San Francisco Caltrain-Station um 10:02 ankommt. Von hier wird Bus 10 von Townsend St & 4. St um 10:09 genommen und kommt in Sansome St. & California St um 10:20 an. Der Benutzer geht dann zum Zielort in 555 California St.

IV. Schlussfolgerung

[0216] Die vorliegende Erfindung wurde insbesondere in Bezug auf eine mögliche Ausführungsform besonders detailliert beschrieben. Fachleute auf dem Gebiet werden erkennen, dass die Erfindung in anderen Ausführungsformen praktiziert werden kann. Erstens ist die spezielle Namensgebung der Komponenten, Großschreibung von Begriffen, die Attribute, Datenstrukturen oder andere Programmierungs- oder strukturelle Aspekte nicht zwingend oder bedeutend, und die Mechanismen, die die Erfindung oder ihre Merkmale implementieren, können unterschiedliche Namen, Formate oder Protokolle aufweisen. Außerdem kann das System mittels einer Kombination aus Hardware und Software, wie beschrieben, oder gänzlich in Hardware-Elementen implementiert sein. Auch ist die hier beschriebene Funktionalitätsaufteilung unter den verschiedenen hier beschriebenen Systemkomponenten nur exemplarisch und nicht obligatorisch; Funktionen, die von einer einzigen Systemkomponente durchgeführt werden, können tatsächlich von mehreren Komponenten durchgeführt werden und von mehreren Komponenten ausgeführte Funktionen können von einer einzelnen Komponenten durchgeführt werden.

[0217] Einige Teile der obigen Beschreibung präsentieren die Merkmale der vorliegenden Erfindung in Bezug auf Algorithmen und symbolischen Darstellungen von Vorgängen in Informationen. Diese algorithmischen Beschreibungen und Darstellungen sind von Datenverarbeitungsexperten verwendete Mittel, um das Wesentliche ihrer Arbeit anderen Fachleuten auf dem Gebiet zu vermitteln. Es versteht sich, dass diese Operationen trotz ihrer funktionellen und logischen Beschreibung von Computerprogrammen implementiert werden. Weiterhin hat es sich zeitweise auch als angebracht erwiesen, sich auf diese Anordnungen von Vorgängen als Module oder durch funktionelle Namen ohne Verlust von Allgemeinheit zu beziehen.

[0218] Außer wenn spezifisch anders ausgesagt als aus der obigen Abhandlung ersichtlich, versteht sich, dass über die gesamte Beschreibung Abhandlungen, bei denen Begriffe, wie z. B. „verarbeitend“ oder „berechnend“ oder „bestimmend“ oder „anzeigend“ oder dergleichen, verwendet werden, sich auf die Aktion und Prozesse eines Computersystems oder eines ähnlichen elektronischen Computergeräts beziehen, das Daten manipuliert und umwandelt, die als physikalische (elektronische) Mengen innerhalb der Computersystemspeicher oder -register oder anderer solcher Informationsspeicher-, Übertragungs- oder Anzeigegeräte dargestellt sind.

[0219] Bestimmte Aspekte der vorliegenden Erfindung beinhalten Prozessschritte und Anweisungen, die hierin in Form eines Algorithmus beschrieben sind. Es sollte ersichtlich sein, dass die Prozessschritte, die Anweisungen, der gegenwärtigen Erfindung, wie beschrieben und beansprucht, von einer Computer-Hardware, die mit einer Programmsteuerung läuft, ausgeführt werden und nicht mentale Schritte sind, die von einem Menschen ausgeführt werden. Gleichmaßen werden sämtliche beschriebenen und angegebenen Daten in einem computerlesbaren Speichermedium gespeichert, das von einem Computersystem betrieben wird, und sie sind nicht einfach dargestellte, abstrakte Ideen.

[0220] Die vorliegende Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Ausführen der Vorgänge hierin. Dieses Gerät kann für den benötigten Zweck speziell gebaut oder es kann in einem Allzweck-Computer enthalten sein und selektiv aktiviert oder durch ein auf einem computerlesbaren Medium gespeichertes Computerprogramm rekonfiguriert werden. Dieses Computerprogramm wird in einem computerlesbaren Speichermedium, wie, jedoch nicht beschränkt auf, jegliche Art von Diskette einschließlich Floppy Disks, optische Disketten, CD-ROMs, Magneto-Optical Disks, read-only memories (ROMs), random access memories (RAMs), EPROMs, EEPROMs, magnetische oder optische Karten, anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise (ASICs) oder jede Art von Medien, die für das Speichern elektronischer Befehle geeignet ist und jeweils an ein Computersystembus gekoppelt werden können, gespeichert. Darüber hinaus können die Computer, auf die in der Spezifikation Bezug genommen wird, einen einzelnen Prozessor enthalten oder es können Architekturen mit multiplen Prozessor-Designs für eine erhöhte Computerleistungsfähigkeit sein.

[0221] Die hierin präsentierten Algorithmen und Vorgänge können durch Computer von jedem Typ oder jeder Marke oder eine andere Vorrichtung ausgeführt werden. Verschiedene Allzweck-Systeme können auch mit Programmen in Übereinstimmung mit den hierin präsentierten Lehren verwendet werden, oder es kann sich als praktisch erweisen, spezialisiertere Geräte zur Durchführung der erforderlichen Schritte der Methode zu konstruieren. Die erforderliche Struktur für eine Vielzahl dieser Systeme wird, neben den äquivalenten Varianten

ten, für Fachleute auf dem Gebiet offensichtlich sein. Des Weiteren ist die gegenwärtige Erfindung nicht mit Bezug auf eine bestimmte Programmiersprache beschrieben. Es versteht sich, dass eine Vielfalt von Programmiersprachen verwendet werden kann, um die Lehren der vorliegenden Erfindung, wie hierin beschrieben, zu implementieren, und alle Bezüge zu spezifischen Sprachen werden zur Offenbarung der Ermöglichung und des besten Modus der vorliegenden Erfindung bereitgestellt.

[0222] Die vorliegende Erfindung ist gut geeignet für eine große Vielfalt von Computernetzwerkssystemen über zahlreiche Topologien. Innerhalb dieses Feldes umfassen die Konfiguration und die Verwaltung großer Netzwerke Speichervorrichtungen und Computer, die kommunikativ mit ungleichartigen Computer- und Speichervorrichtungen über ein Netzwerk verbunden sind, wie z. B. das Internet.

[0223] Schlussendlich sollte darauf hingewiesen werden, dass die in der Spezifikation verwendete Sprache prinzipiell zu Lesbarkeits- und Anweisungszwecken ausgewählt wurde, und möglicherweise nicht ausgewählt wurde, um den erfindungsgemäßen Gegenstand zu schildern oder zu umschreiben. Dementsprechend soll die Offenbarung der vorliegenden Erfindung veranschaulichend, jedoch nicht den Umfang der Erfindung beschränkend sein, die in den nachfolgenden Ansprüchen beschrieben wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- http://code.google.com/transit/spec/transit_feed_specification.html [0051]

Schutzansprüche

1. Computerprogrammprodukt, das ein computerlesbares Speichermedium umfasst, das einen computerausführbaren Code zum Berechnen von optimalen öffentlichen Verkehrsmittelwechsellustern zwischen Transitstationen umfasst, wobei der Code, wenn er durch einen Computerprozessor ausgeführt wird, die folgenden Schritte umfasst:

für jede gespeicherte öffentliche Verkehrsfahrt, die eine Quellenstation und eine Zielstation beschreibt, Abrufen einer gespeicherten Transitroute, die einen Fahrplan von einem oder mehreren Halten an Transitstationen durch ein Transitfahrzeug während der öffentlichen Verkehrsfahrt von der Quellenstation zur Zielstation beschreibt;

Erzeugen eines Transitgraphen durch Darstellen der abgerufenen Route von jeder gespeicherten öffentlichen Verkehrsfahrt als eine Folge einer Mehrzahl von Knoten, die durch Bögen miteinander verbunden sind, wobei jeder Knoten im Transitgraphen ein Ereignis darstellt, das an einer Transitstation eintritt, das durch ein Fahrzeug erzeugt wurde, das mit der Transitarfahrt verbunden ist;

für jedes Paar von Transitstationen, die im Transitgraphen dargestellt sind:

Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechsellustern, das eine optimale Transitarroute von einem oder mehreren Wechseln an Transitstationen zwischen dem Paar von Stationen beschreibt, die im Transitgraphen dargestellt sind; und

Speichern des mindestens einen optimalen Wechsellusterns für jedes Paar von Transitstationen.

2. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 1, worin das computerlesbare Speichermedium weiterhin einen computerausführbaren Code speichert, der bei Ausführung durch den Computerprozessor bestimmt, welche Stationen vom Transitgraphen repräsentativ für Globalstationen sind, worin eine Globalstation eine Station ist, bei der ein Transitarfahrzeugwechsel oftmals während einer Langstreckenfahrt eintritt.

3. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 2, worin das Bestimmen, welche Stationen vom Transitgraphen für Globalstationen repräsentativ sind, Folgendes umfasst:

für jede Station im Transitgraphen Bestimmen einer Anzahl von Transitarfahrzeugwechseln, die an der Station eintreten, worin ein Transitarfahrzeugwechsel ein erstes Transitarfahrzeug an der Station beschreibt, aus dem von einer Person ausgestiegen wird und ein zweites Transitarfahrzeug, das an der Station positioniert ist, in das durch die Person eingestiegen wird; und

Auswählen der Globalstationen basierend mindestens teilweise auf der Anzahl von Transitarfahrzeugwechseln, die an jeder Station eintreten.

4. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 2, worin das Bestimmen, welche Stationen vom Transitgraphen für Globalstationen repräsentativ sind, Folgendes umfasst:

für jede Station im Transitgraphen Gruppieren von Knoten, die ein Transitarfahrzeug beschreiben, in das an der Station eingestiegen wird, um eine Stationsknotengruppe von Knoten auszubilden, die mit der Station verbunden sind, und Gruppieren von Knoten, die mit unterschiedlichen Routen verbunden sind, die dieselbe Folge von vorangegangenen Stationen im Transitgraphen aufweisen, um eine Onboard-Knotengruppe von Knoten auszubilden, die mit der Station verbunden sind;

für jedes Paar von Stationen im Transitgraphen Bestimmen, ob mindestens ein Paar von Knoten, die mit dem Paar von Stationen verbunden sind, durch einen Bogen im Transitgraphen verbunden ist;

für jedes Paar von Gruppen von Knoten Hinzufügen von Knoten zwischen einem Paar von Gruppen von Knoten, die mit einem Paar von Stationen verbunden sind, die auf mindestens ein Paar von Knoten reagieren, die mit dem Paar von Stationen im Transitgraphen verbunden sind, das durch einen Bogen verbunden ist;

für jeden Bogen zwischen einem Paar von Gruppen von Knoten Zuweisen von Kosten mindestens teilweise basierend auf Mindestkosten, die mit einem Paar von Knoten verbunden sind, die zum Paar von Gruppen von Knoten gehören, wobei das Paar von Knoten durch einen Bogen im Transitgraphen verbunden ist;

Bestimmen optimaler Wege von einer Mehrzahl von Stationsknotengruppen basierend auf Kosten;

für jede Stationsknotengruppe, die in den optimalen Wegen beschrieben ist, Bestimmen einer Punktzahl basierend auf einer Anzahl von unterschiedlichen Stationsknotengruppen, die der Stationsknotengruppe im optimalen Weg vorangehen; und

Bestimmen der Globalstationen basierend mindestens teilweise auf den Punktzahlen für jede Stationsknotengruppe.

5. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 1, worin das Bestimmen von Direktverbindungsfahrten vom Transitgraphen Folgendes umfasst:

für jedes mögliche Paar aus Quellenstation und Zielstation im Transitgraphen Bestimmen eines Satzes von Fahrten im Transitgraphen, der einen Knoten verbindet, der mit der Quellenstation verbunden ist, zu einem

Knoten, der mit der Zielstation verbunden ist, worin jede Fahrt im Satz dieselbe Folge von Knoten beinhaltet, die Halte darstellen, die durch ein Transitfahrzeug während der Fahrt durchgeführt werden; und Speichern des Satzes von Fahrten.

6. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 1, worin das Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselsmuster Folgendes umfasst:

für jede mögliche paarweise Kombination von Stationen, die eine Quellenstation und eine Zielstation beschreibt, Initialisieren von Stationsknoten von der Quellenstation mit einem Nullkostenwert;

Ausführen einer Pareto-Dijkstra-Suche basierend auf mehreren Dimensionen von Kosten von jedem Stationsknoten in der Quellenstation zu jedem Knoten an der Zielstation, um optimale Routen im Transitgraphen zu bestimmen, worin jeder Knoten von einer optimalen Route einen Label-Satz umfasst, der Kosten hinsichtlich Zeitdauer und Strafe spezifiziert;

für jeden Knoten Filtern des Label-Satzes, um dominierte Label zu entfernen, worin ein erstes Label (d_1 , p_1) ein zweites Label (d_2 , p_2) dominiert, das auf d_1 reagiert, das weniger als d_2 ist und p_1 , das weniger als p_2 ist;

Bestimmen von optimalen Wegen basierend auf dem gefilterten Label-Satz; und

Bestimmen des Wechselsmusters von jedem der optimalen Wege basierend auf dem Anordnen von Stationen, die mit dem gefilterten Label-Satz von jedem der optimalen Wege verbunden sind.

7. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 2, worin das Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselsmuster Folgendes umfasst:

für jede Globalstation im Transitgraphen Bestimmen eines optimalen Wegs von allen Knoten, die mit der Globalstation verbunden sind, mit jedem anderen Knoten, der von der Globalstation im Transitgraphen erreichbar ist; und

für jeden optimalen Weg Bestimmen eines Wechselsmusters des optimalen Wegs.

8. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 1, worin das Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselsmuster Folgendes umfasst:

für jede mögliche paarweise Kombination von Stationen im Transitgraphen, die eine Quellenstation und eine Zielstation beschreibt, Bestimmen eines optimalen Wegs von jedem Knoten, der mit der Quellenstation verbunden ist, zu jedem Knoten, der mit der Zielstation verbunden ist;

für jeden optimalen Weg Bestimmen von Kosten, die mit dem optimalen Weg verbunden sind, worin die Kosten von Zeit und Strafe abhängig sind;

Bestimmen eines dominanten Wegs von den optimalen Wegen mindestens teilweise basierend auf Kosten, worin der dominante Weg einen optimalen Weg mit Mindestkosten beschreibt; und

Bestimmen eines Wechselsmusters, das mit dem dominanten Weg verbunden ist.

9. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 2, worin das Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselsmuster Folgendes umfasst:

Bestimmen von Wegen von Knoten von Nicht-Globalstationen zu Knoten von Globalstationen im Transitgraphen, wobei jeder Weg eine Fahrt zur Globalstation beschreibt, bei der nur eine maximale Anzahl von Transitfahrzeugwechseln an Zwischenstationen entlang des Wegs durchgeführt wird, um die Globalstation zu erreichen; und

für jeden bestimmten Weg Bestimmen eines Wechselsmusters, das mit dem Weg verbunden ist.

10. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 2, worin das Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselsmuster Folgendes umfasst:

Bestimmen von Wegen im Transitgraphen ausgehend von Knoten von Nicht-Globalstationen zu Knoten von Globalstationen, wobei die Knoten der Globalstationen Transitfahrzeuge beschreiben, die an Stationen bestiegen bleiben, die mit den Knoten der Globalstationen verbunden sind;

für jeden bestimmten Weg Bestimmen eines Wechselsmusters, das mit dem Weg verbunden ist.

11. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 3, worin das Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselsmuster Folgendes umfasst:

Bestimmen von optimalen Wegen im Transitgraphen ausgehend von Knoten von Nicht-Globalstationen zu Knoten von Globalstationen,

Bestimmen eines Wechselsmusters für jeden optimalen Weg zum Ausbilden eines Satzes von Wechselsmustern; und

Entfernen von redundanten Wechselsmustern, die durch eines oder mehrere Wechselsmuster im Satz impliziert werden.

12. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 1, worin das Speichern des mindestens einen optimalen Wechslemusters für jedes Paar von Transitstationen Folgendes umfasst:

Entfernen von einer oder mehreren wiederholten Folgen von Stationen im mindestens einen Wechslemuster;
Segmentieren des mindestens einen Wechslemusters in eines oder mehrere Wechslemuster-Suffixe, die auf Entfernen der einen oder mehreren wiederholten Folgen reagieren, worin jedes Wechslemuster-Suffix ein sequenziertes Paar von Stationen beschreibt, die einer Station vorangehen, die mit dem Wechslemuster-Suffix im mindestens einen Wechslemuster verbunden sind; und
Speichern des einen oder der mehreren Wechslemuster-Suffixe.

13. Computerprogrammprodukt, umfassend ein computerlesbares Speichermedium, das einen computer-ausführbaren Code speichert, um eine öffentliche Transitroute einer Reise von einem Startstandort zu einem Zielstandort zu bestimmen, wobei der Code bei Ausführung durch einen Computerprozessor die folgenden Schritte ausführt

Empfangen einer Anfrage von einem Client-Gerät nach einer öffentlichen Transitroute vom Startstandort zum Zielstandort;

Bestimmen von Transitstationen innerhalb einer radialen Distanz vom Startstandort, und dadurch Erzeugen einer Quellenstationsliste, die die Transitstationen innerhalb der radialen Distanz vom Startstandort umfasst;
Bestimmen von Transitstationen innerhalb der radialen Distanz vom Zielstandort, und dadurch Erzeugen einer Zielstationsliste, die die Transitstationen innerhalb der radialen Distanz vom Zielstandort umfasst;

für jede paarweise Kombination von Transitstationen, die eine Quellenstation von der Quellenstationsliste beschreibt, und eine Zielstation von der Zielstationsliste, Abrufen von mindestens einem gespeicherten Wechslemuster, das Transitzfahrzeugwechsel an Transitzwischenstationen zwischen der Quellenstation und der Zielstation beschreibt, um von der Quellenstation zur Zielstation zu reisen;

für jedes abgerufene Wechslemuster Bestimmen von mindestens einer optimalen Route von der Quellenstation zur Zielstation, die eine Instanziierung des Wechslemusters zu einer spezifischen Zeit ist; und
Übertragen von Informationen, die die mindestens eine optimale Route zum Client-Gerät beschreiben.

14. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13, worin Abrufen von mindestens einem gespeicherten Wechslemuster Folgendes umfasst:

Abrufen von einem oder mehreren Wechsel-Suffixen, die ein sequenziertes Paar von Stationen beschreiben, die einer Station vorangehen, die mit jedem Wechslemuster-Suffix verbunden ist; und
Verketten des einen oder der mehreren Suffixe, um das mindestens eine gespeicherte Wechslemuster zu erzeugen.

15. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13, worin das computerlesbare Speichermedium weiterhin einen computerausführbaren Code umfasst, der bei Ausführung durch den Prozessor:

einen Anfragegraphen durch Darstellen des mindestens einen gespeicherten Wechslemusters von jeder paarweisen Kombination von Transitstationen als eine Folge von Knoten erzeugt, die durch Bögen in einer Reihenfolge verbunden sind, die durch das mindestens eine gespeicherte Wechslemuster beschrieben wird.

16. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 15, worin Bestimmen von mindestens einer optimalen Route von der Quellenstation zur Zielstation, die eine Instanziierung des Wechslemusters zu einer spezifischen Zeit ist, Folgendes umfasst:

Erweitern des Anfragegraphen durch Darstellen jedes Knotens im Anfragegraphen als einen Stationsknoten, der ein Transitzfahrzeug darstellt, das an einer Station bestiegen wird, die mit dem Stationsknoten und einem Onboard-Knoten verbunden ist, der ein Transitzfahrzeug darstellt, das während einer Ankunft eines Transitzfahrzeugs bestiegen bleibt, das an einer Station ankommt, die mit dem Onboard-Knoten verbunden ist;

Bestimmen von einer oder mehreren Direktverbindungsrouen von der Quellenstation zu jeder nachfolgenden Station, worin eine Direktverbindungsroute eine Route von der Quellenstation zu einer nachfolgenden Station und einen Fahrplan von Halten an Transitzwischenstationen zwischen der Quellenstation und der nachfolgenden beschreibt, die mit dem mindestens einen gespeicherten Wechslemuster verbunden sind; und

für jede der einen oder mehreren Direktverbindungsrouen Verbinden einer Reihe von Knoten im erweiterten Anfragegraphen mit Bögen, um die Direktverbindungsroute darzustellen, wobei jeder Knoten in der Reihe eine Station darstellt, die mit dem mindestens einen gespeicherten Wechslemuster verbunden ist.

17. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13, worin das computerlesbare Speichermedium weiterhin einen computerausführbaren Code umfasst, der bei Ausführung durch den Prozessor:

Bestimmen von einer oder mehreren Direktverbindungen von der Quellenstation zur mindestens einen nachfolgenden Station;

Bestimmen von einer oder mehreren Direktverbindungen von der mindestens einen nachfolgenden Station zur Zielstation; und
 Verketteten der einen oder mehreren Direktverbindungen von der Quellenstation zur mindestens einen nachfolgenden Station mit der einen oder den mehreren Direktverbindungen von der mindestens einen nachfolgenden Station zur Zielstation, um eine Route von der Quellenstation zur Zielstation auszubilden; und
 Verbinden einer Reihe von Knoten im erweiterten Anfragegraphen mit Bögen, um die ausgebildete Route darzustellen.

18. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13, worin Bestimmen von mindestens einer optimalen Route von der Quellenstation zur Zielstation, die eine Instanziierung des Wechselmusters zu einer spezifischen Zeit ist, Folgendes umfasst:

Berechnen der mindestens einen optimalen Route durch Anwenden einer Pareto-Dijkstra-Berechnung auf den erweiterten Anfragegraphen, um die mindestens eine optimale Route von der Quellenstation zur Zielstation basierend auf mehreren Dimensionen von Kosten zu berechnen, worin die mehreren Dimensionen die Zeitdauer zwischen einem Paar von Stationen und einer Strafe umfassen.

19. Computersystem zum Berechnen von optimalen Wechselmustern von öffentlichen Verkehrsmitteln zwischen bekannten Transitstationen, wobei das System Folgendes umfasst:

einen Computerprozessor; und

ein computerlesbares Speichermedium, das Computerprogrammmodule speichert, die zum Ausführen auf dem Computerprozessor konfiguriert sind, wobei die Computerprogrammmodule Folgendes umfassen:

ein Transitgraphenmodul, das konfiguriert ist zum:

Abrufen einer gespeicherten Transitroute, die einen Fahrplan von einem oder mehreren Halten an Transitstationen durch ein Transitfahrzeug während der öffentlichen Verkehrsfahrt von einer Quellenstation zu einer Zielstation für jede gespeicherte öffentliche Verkehrsfahrt beschreibt, die die Quellenstation und die Zielstation beschreibt; und

Erzeugen eines Transitgraphen durch Darstellen der abgerufenen Route von jeder gespeicherten öffentlichen Verkehrsfahrt als eine Folge einer Mehrzahl von Knoten, die durch Bögen miteinander verbunden sind, wobei jeder Knoten im Transitgraphen ein Ereignis darstellt, das an einer Transitstation eintritt, das durch ein Fahrzeug erzeugt wurde, das mit der Transitfahrt verbunden ist;

ein Wechselmusterberechnungsmodul, das für jedes Paar von Transitstationen konfiguriert ist, die im Transitgraphen dargestellt sind:

Berechnen vom Transitgraphen von mindestens einem optimalen Wechselmuster, das eine optimale Transitroute von einem oder mehreren Wechseln an Transitstationen zwischen dem Paar von Stationen beschreibt, die im Transitgraphen dargestellt sind; und

Speichern des mindestens einen optimalen Wechselmusters für jedes Paar von Transitstationen.

20. Computersystem zum Bestimmen einer öffentlichen Transitroute einer Reise von einem Startstandort zu einem Zielstandort, wobei das Verfahren durch einen Computer ausgeführt wird und Folgendes umfasst:

einen Computerprozessor; und

ein computerlesbares Speichermedium, das Computerprogrammmodule speichert, die zum Ausführen auf dem Computerprozessor konfiguriert sind, wobei die Computerprogrammmodule Folgendes umfassen:

ein Lokalstationsbestimmungsmodul, das konfiguriert ist zum:

Empfangen einer Anfrage von einem Client-Gerät nach einer öffentlichen Transitroute vom Startstandort zum Zielstandort;

Bestimmen von Transitstationen innerhalb einer radialen Distanz vom Startstandort, und dadurch Erzeugen einer Quellenstationsliste, die die Transitstationen innerhalb der radialen Distanz vom Startstandort umfasst;

Bestimmen von Transitstationen innerhalb der radialen Distanz vom Zielstandort, und dadurch Erzeugen einer Zielstationsliste, die die Transitstationen innerhalb der radialen Distanz vom Zielstandort umfasst;

ein Wechselmusterkonstruktionsmodul, das für jede paarweise Kombination von Transitstationen konfiguriert ist, die eine Quellenstation von der Quellenstationsliste beschreibt, und eine Zielstation von der Zielstationsliste, Abrufen von mindestens einem gespeicherten Wechselmuster, das Transitfahrzeugwechsel an Transitzwischenstationen zwischen der Quellenstation und der Zielstation beschreibt, um von der Quellenstation zur Zielstation zu reisen;

ein Anfragegraphenanalysemodul, das für jedes abgerufene Wechselmuster konfiguriert ist, Bestimmen von mindestens einer optimalen Route von der Quellenstation zur Zielstation, die eine Instanziierung des Wechselmusters zu einer spezifischen Zeit ist; und

ein Fahrdienstmodul, das konfiguriert ist, um Informationen zu übertragen, die die mindestens eine optimale Route zum Client-Gerät beschreiben.

Es folgen 21 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

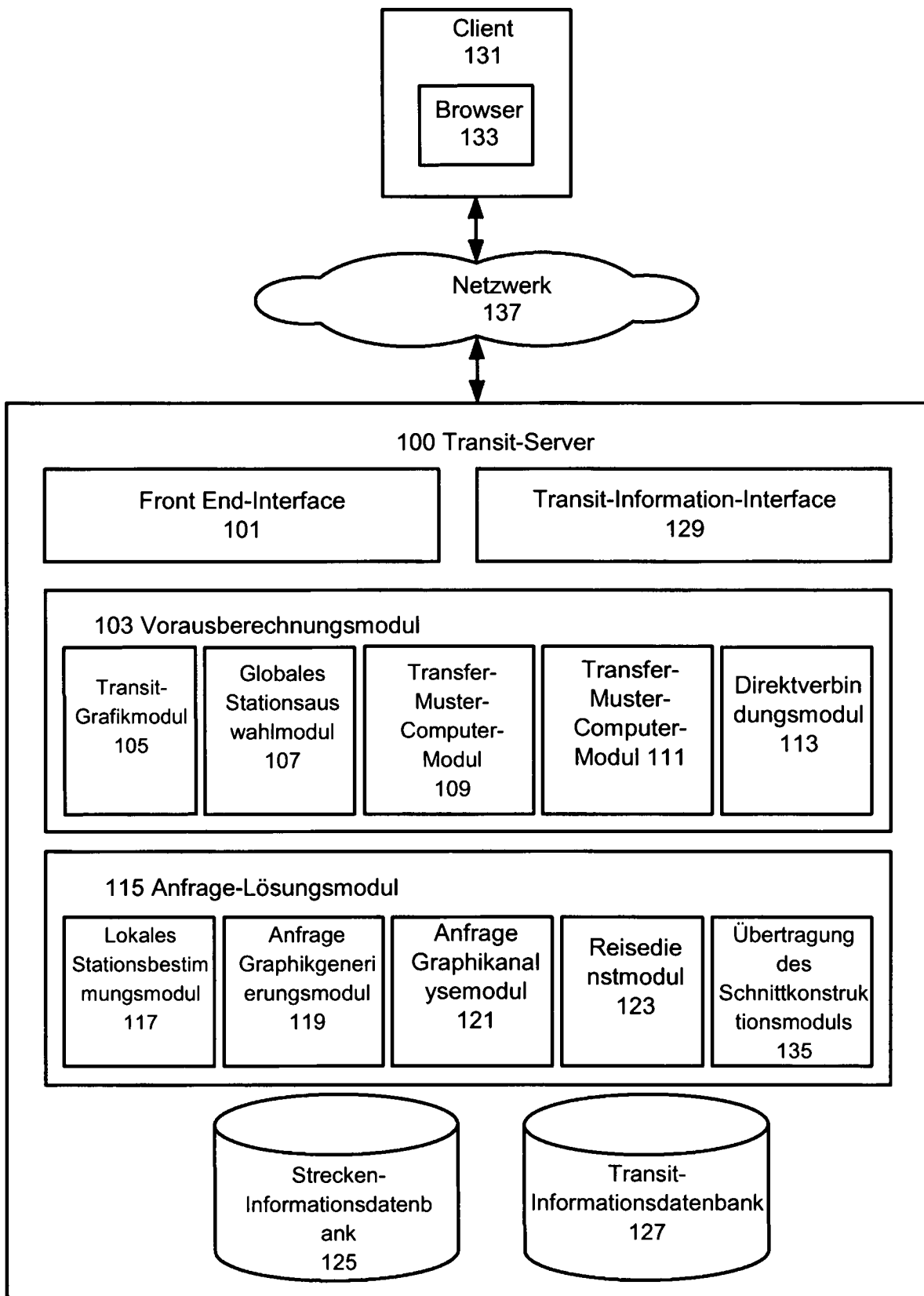


FIG. 1

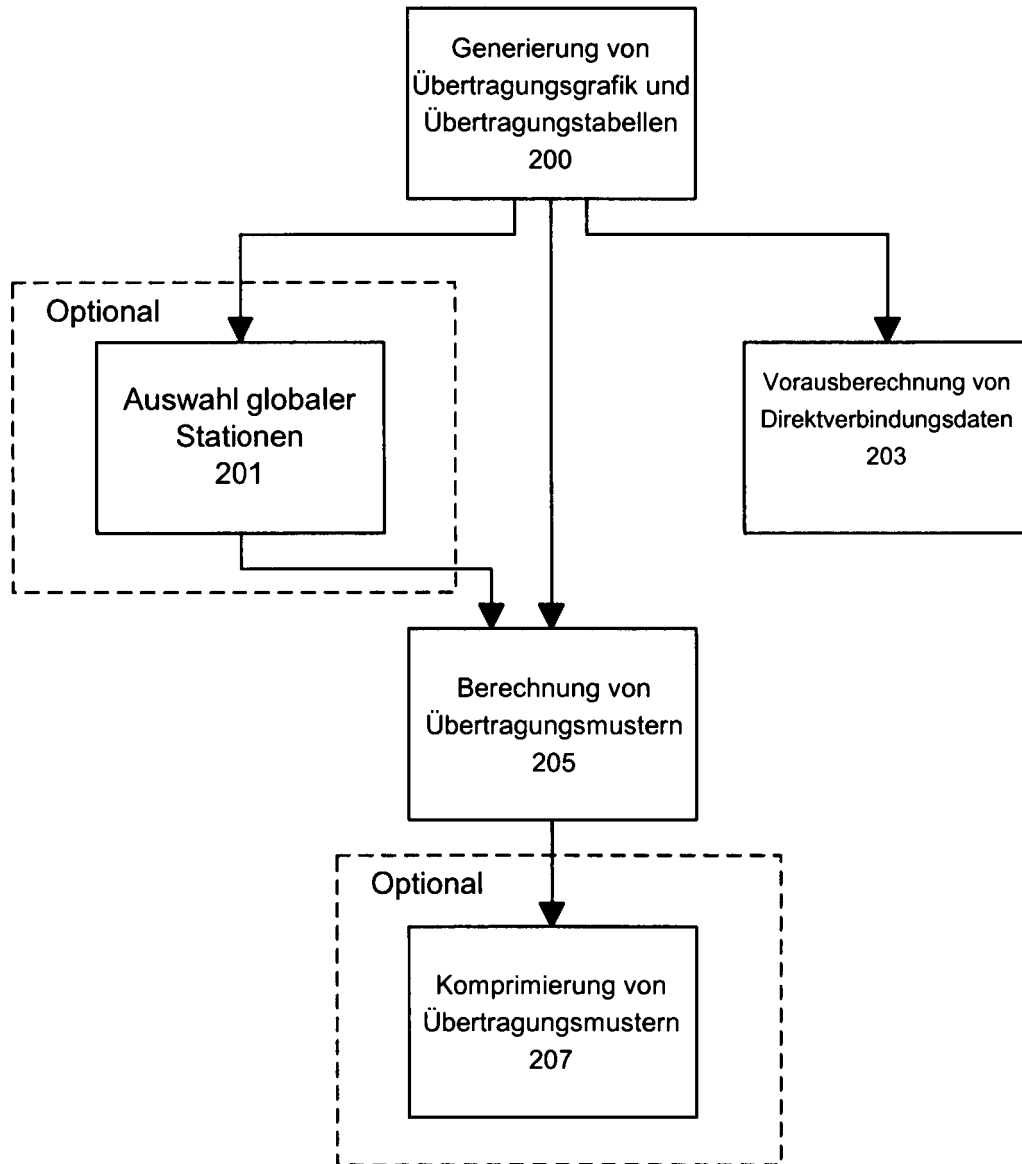


FIG. 2

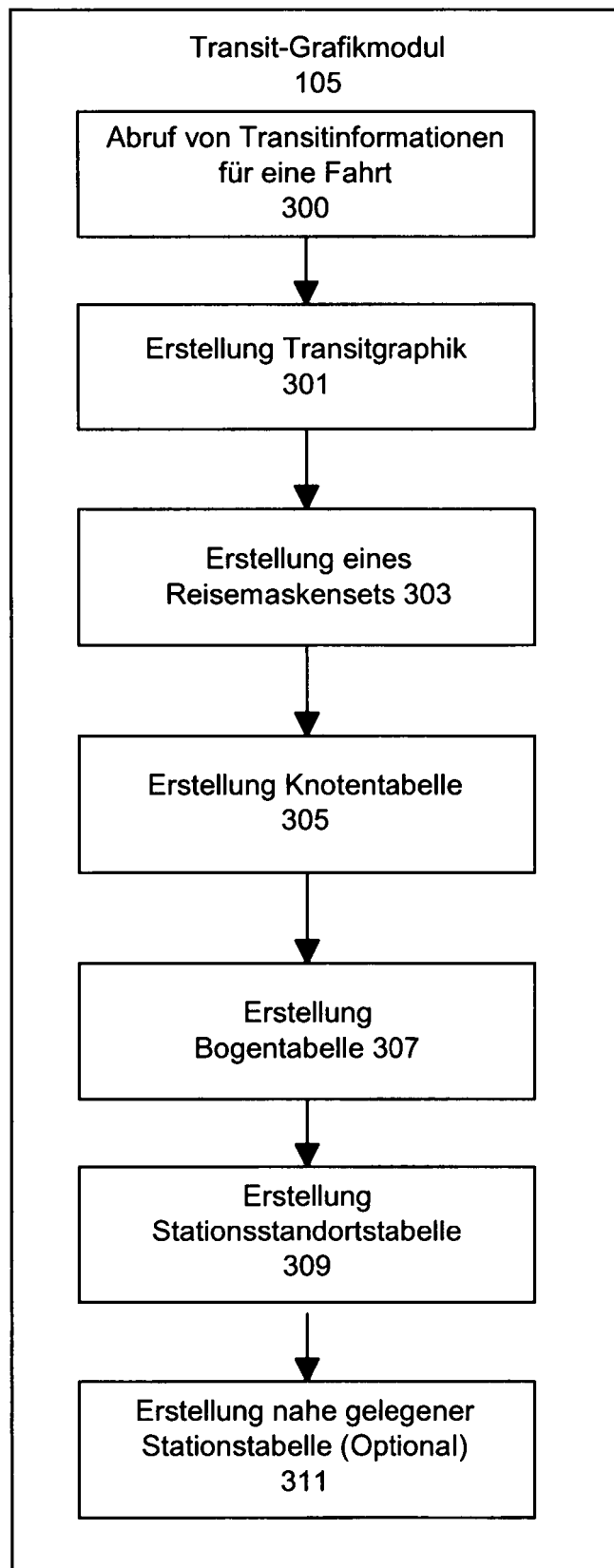
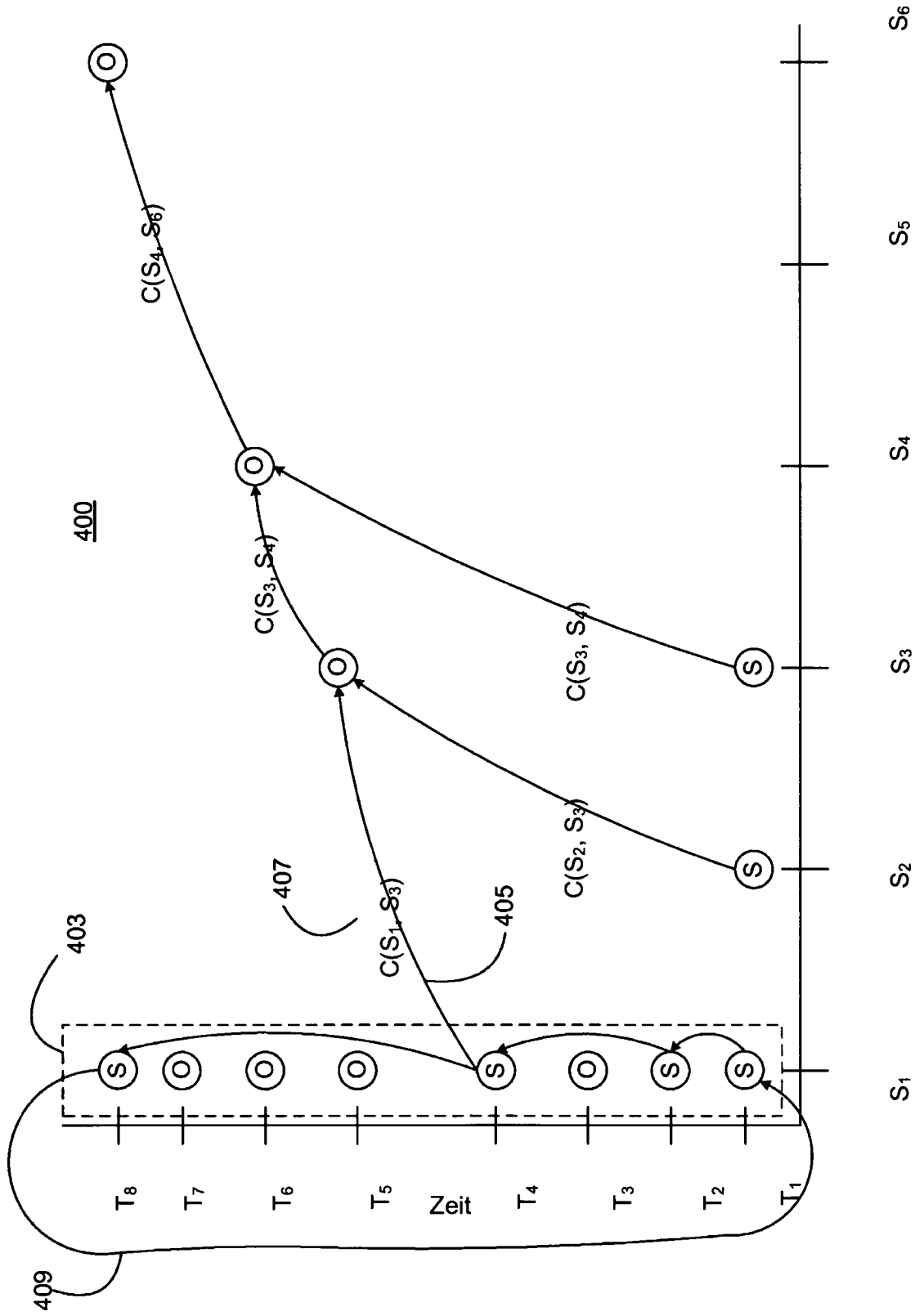
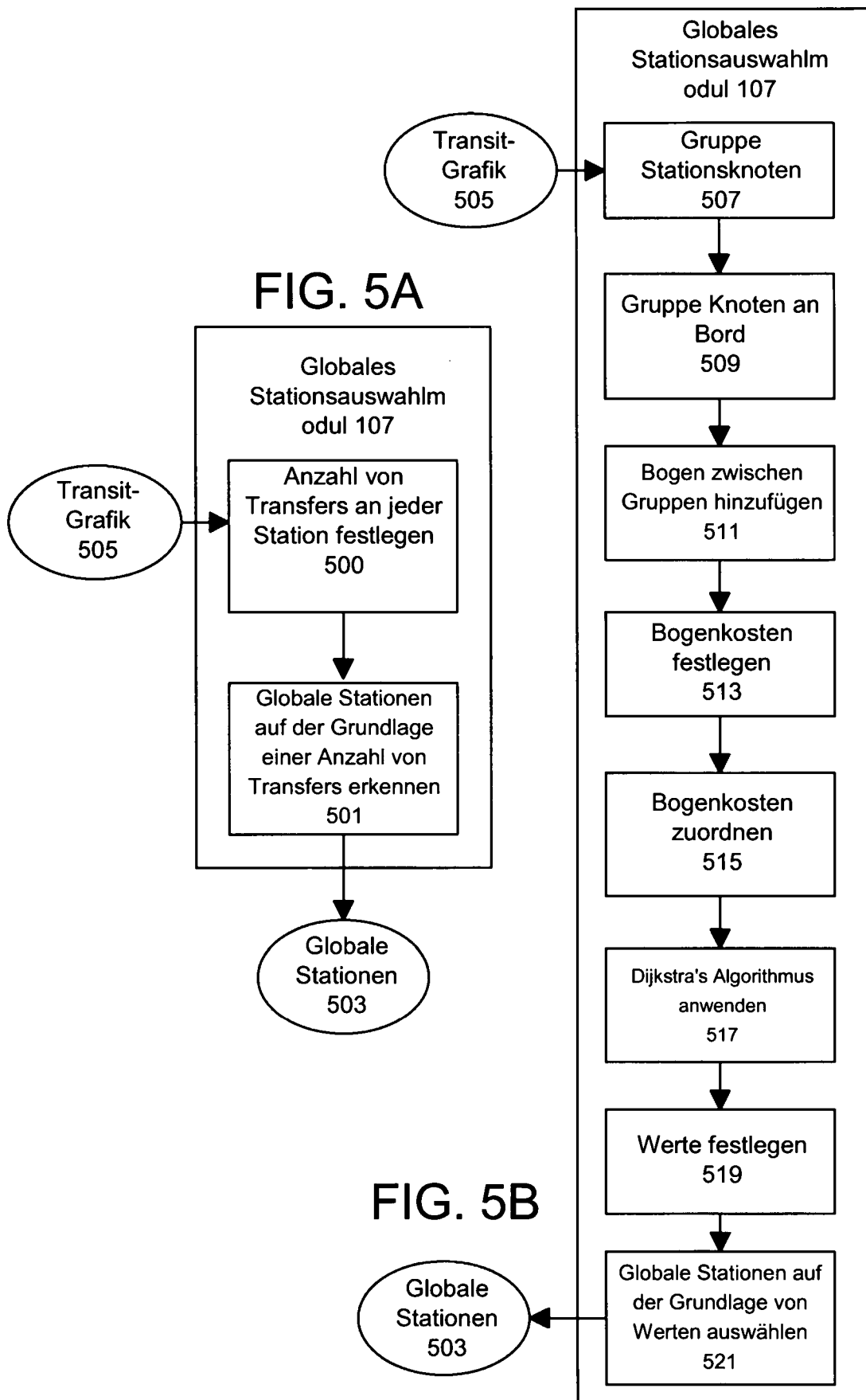


FIG. 3



Stationen

FIG. 4



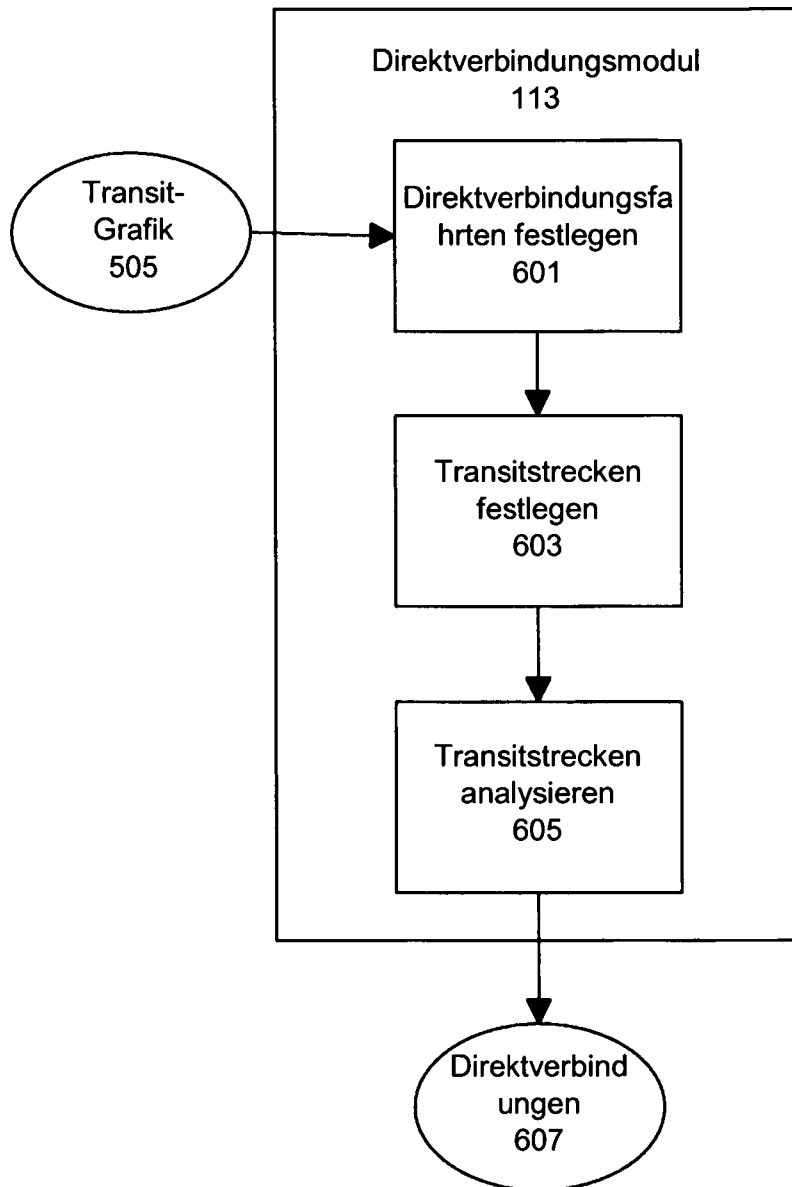


FIG. 6

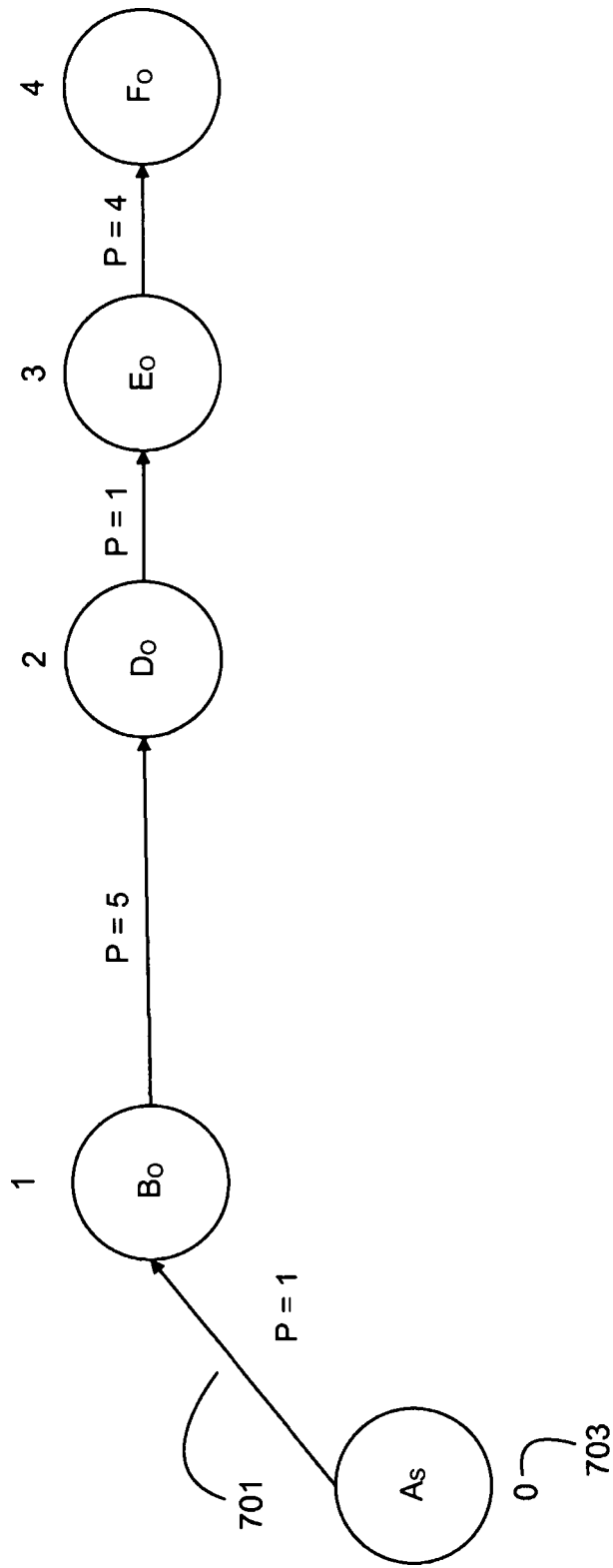


FIG. 7

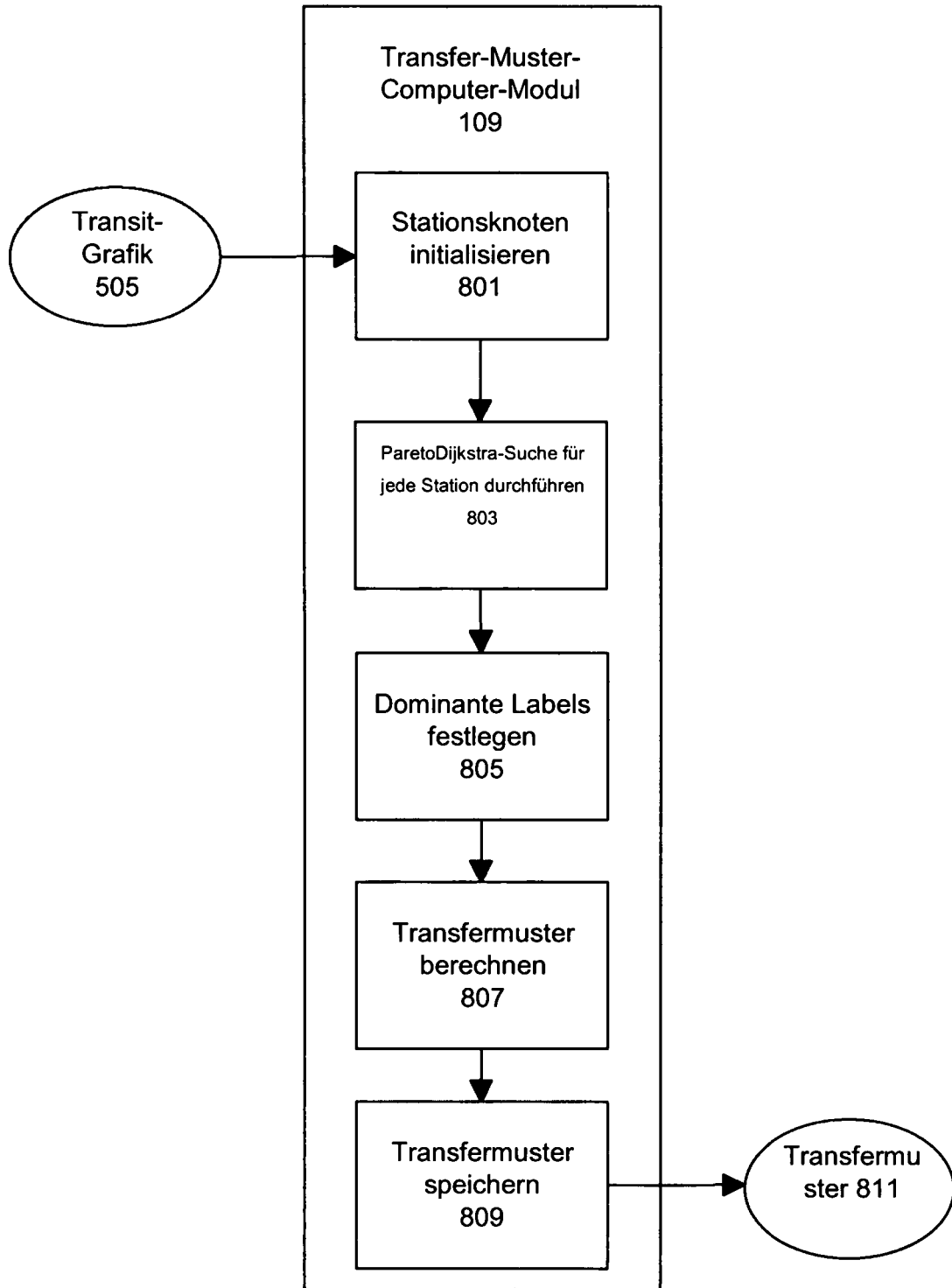


FIG. 8

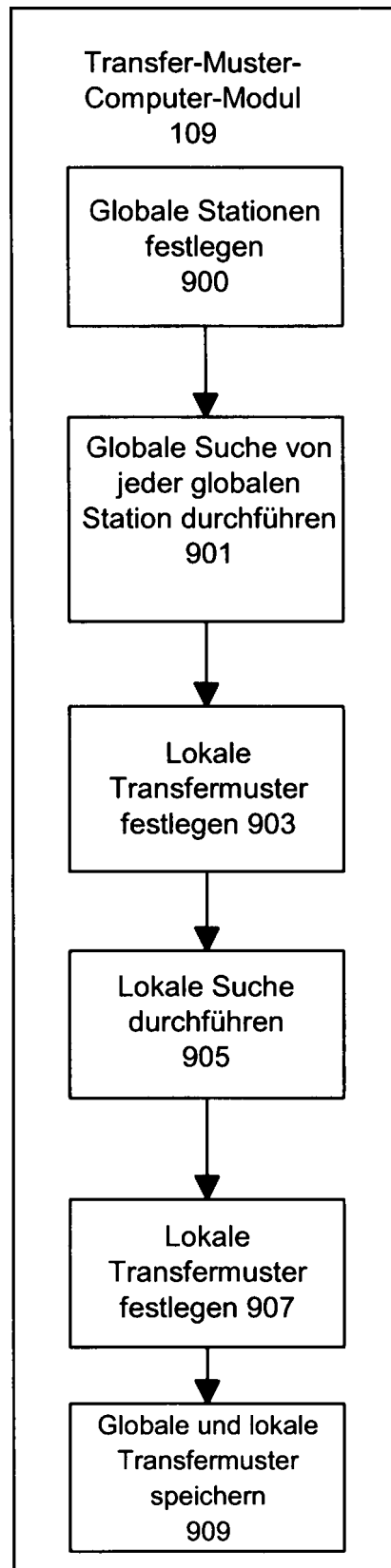


FIG. 9

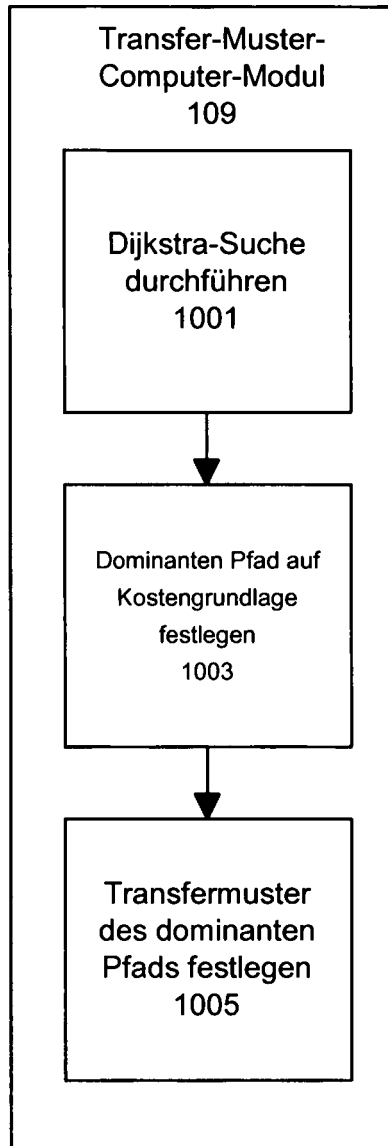


FIG. 10A

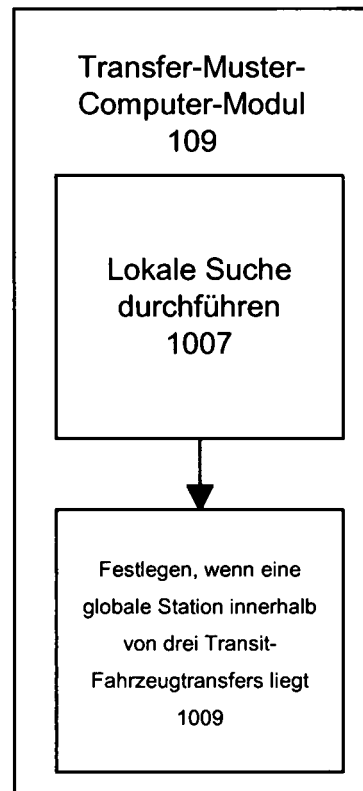


FIG. 10B

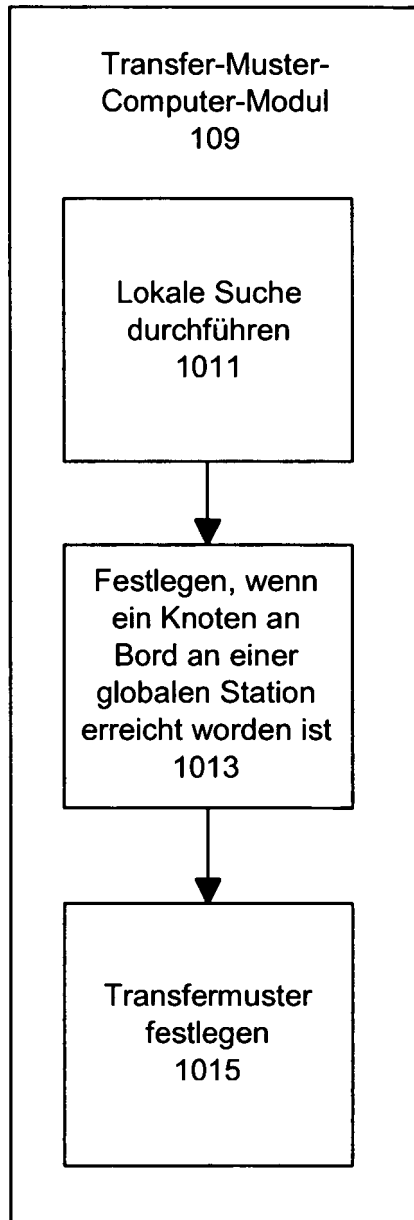


FIG. 10C

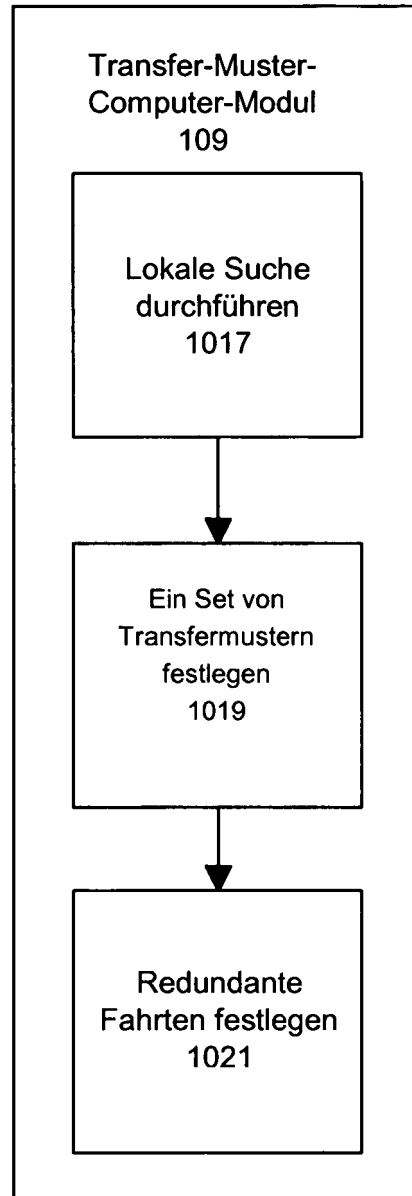


FIG. 10D

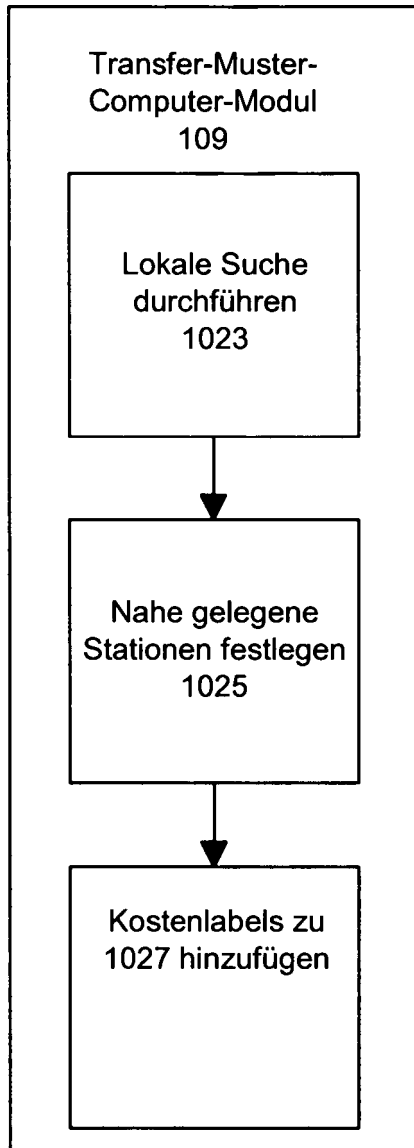


FIG. 10E

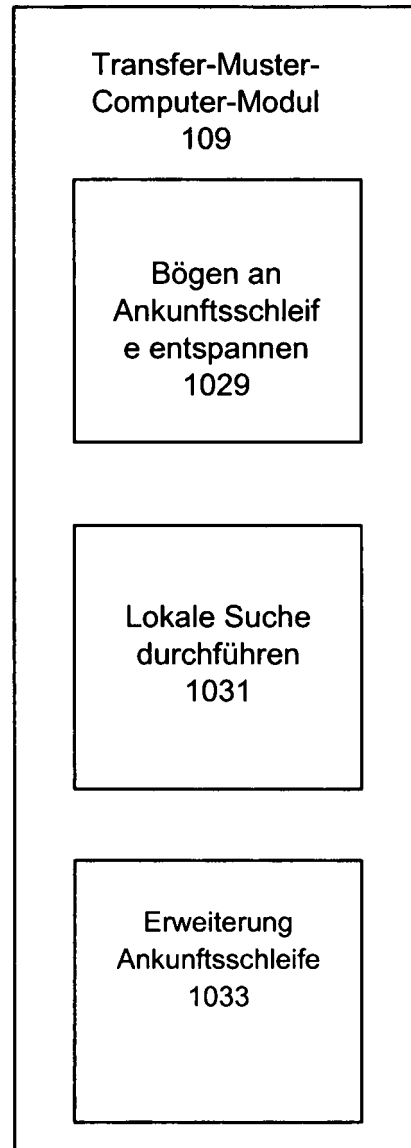


FIG. 10F

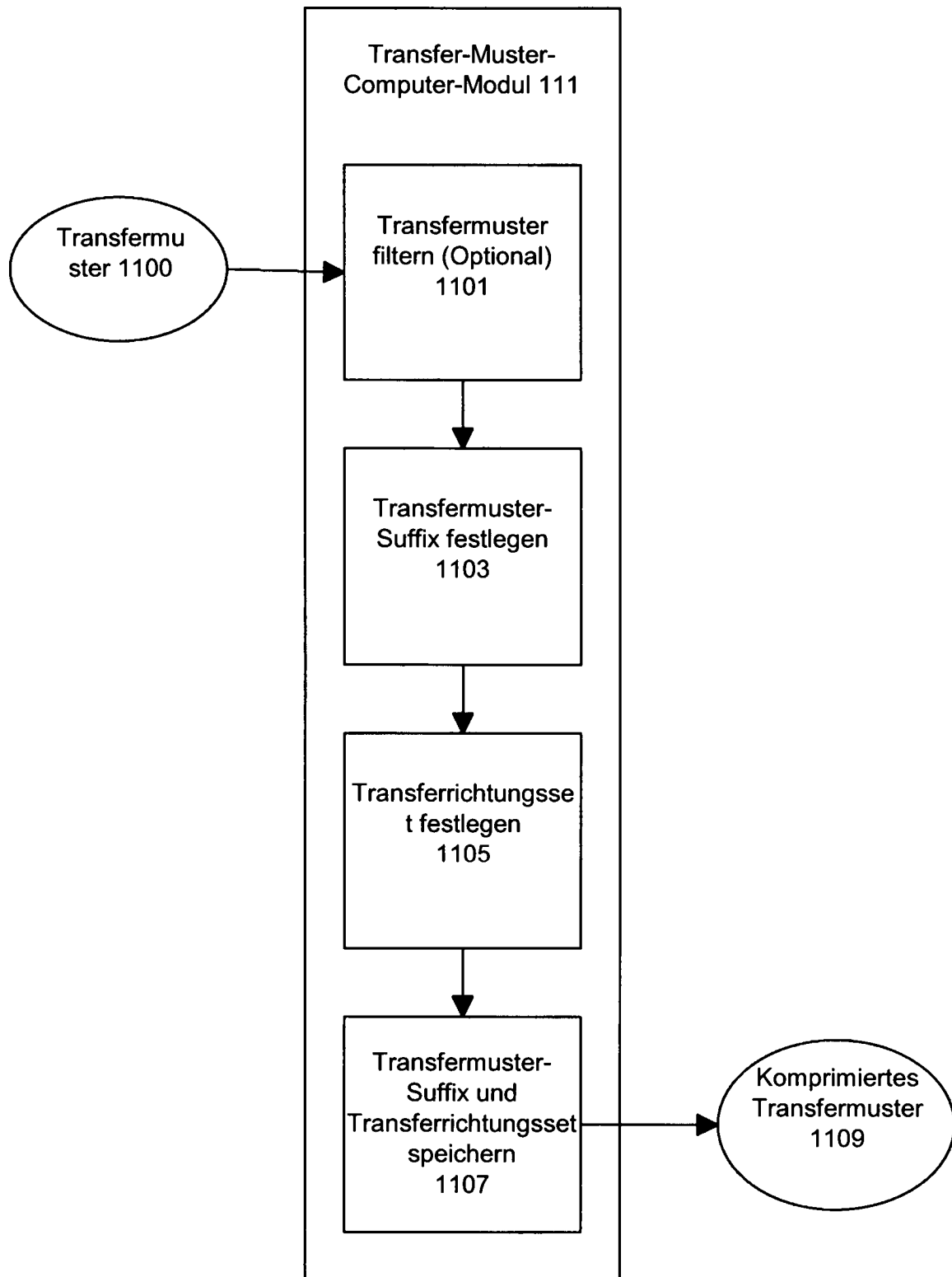


FIG. 11

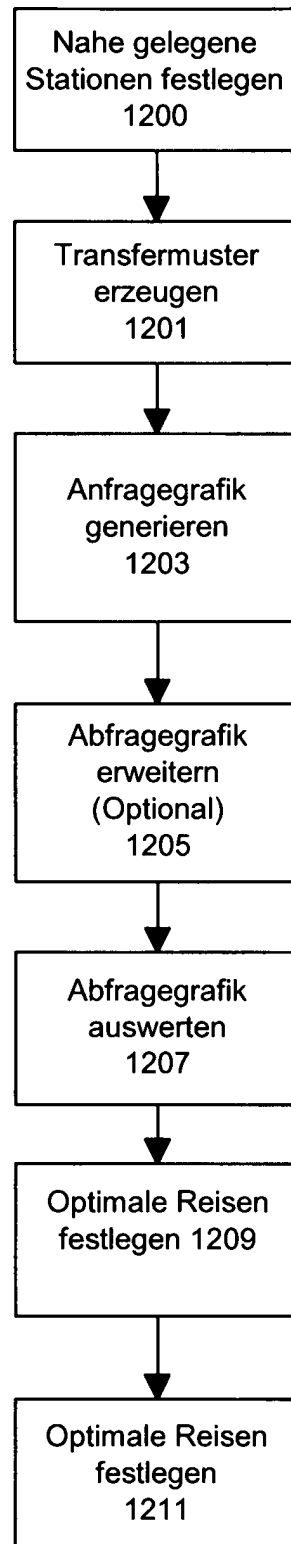


FIG. 12

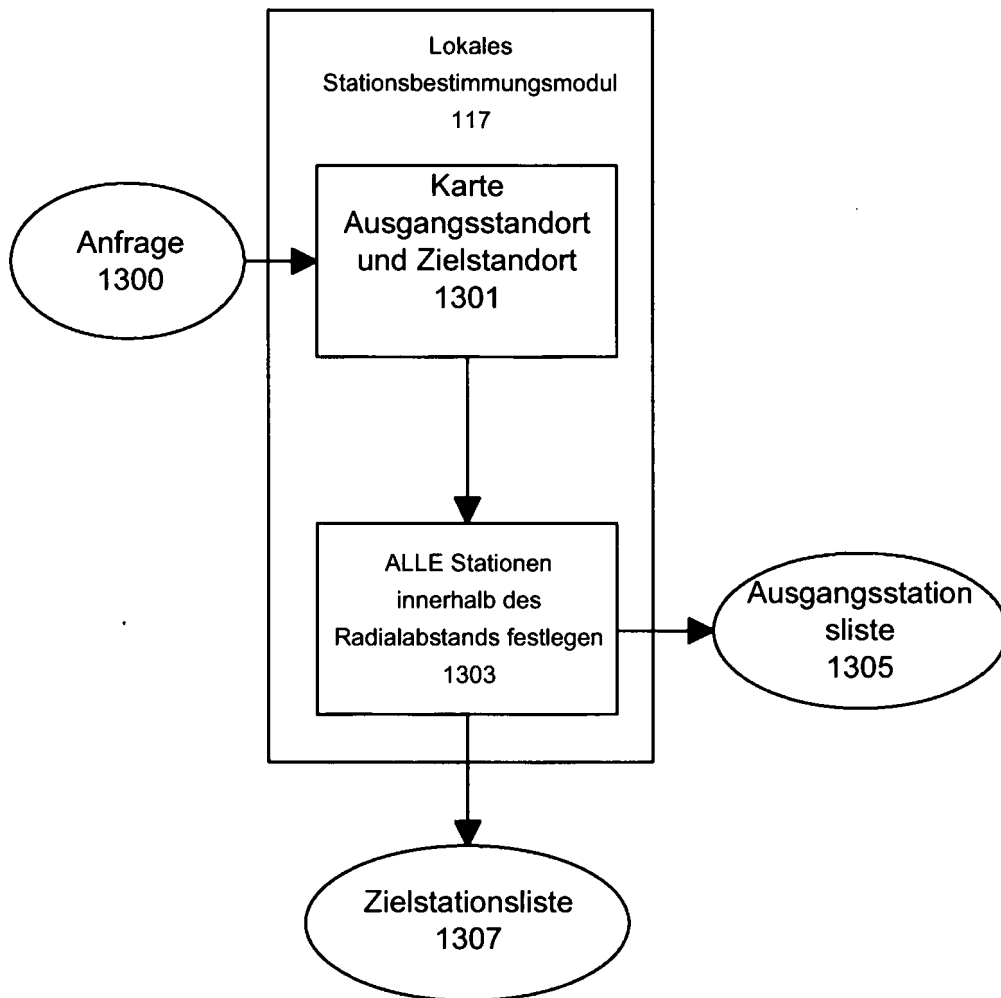


FIG. 13

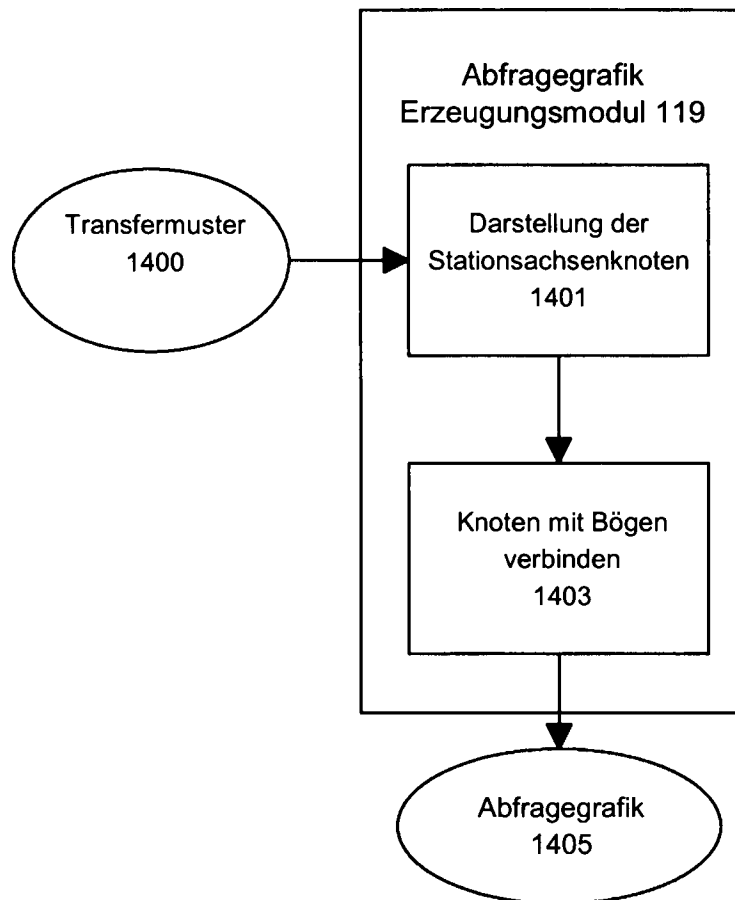


FIG. 14

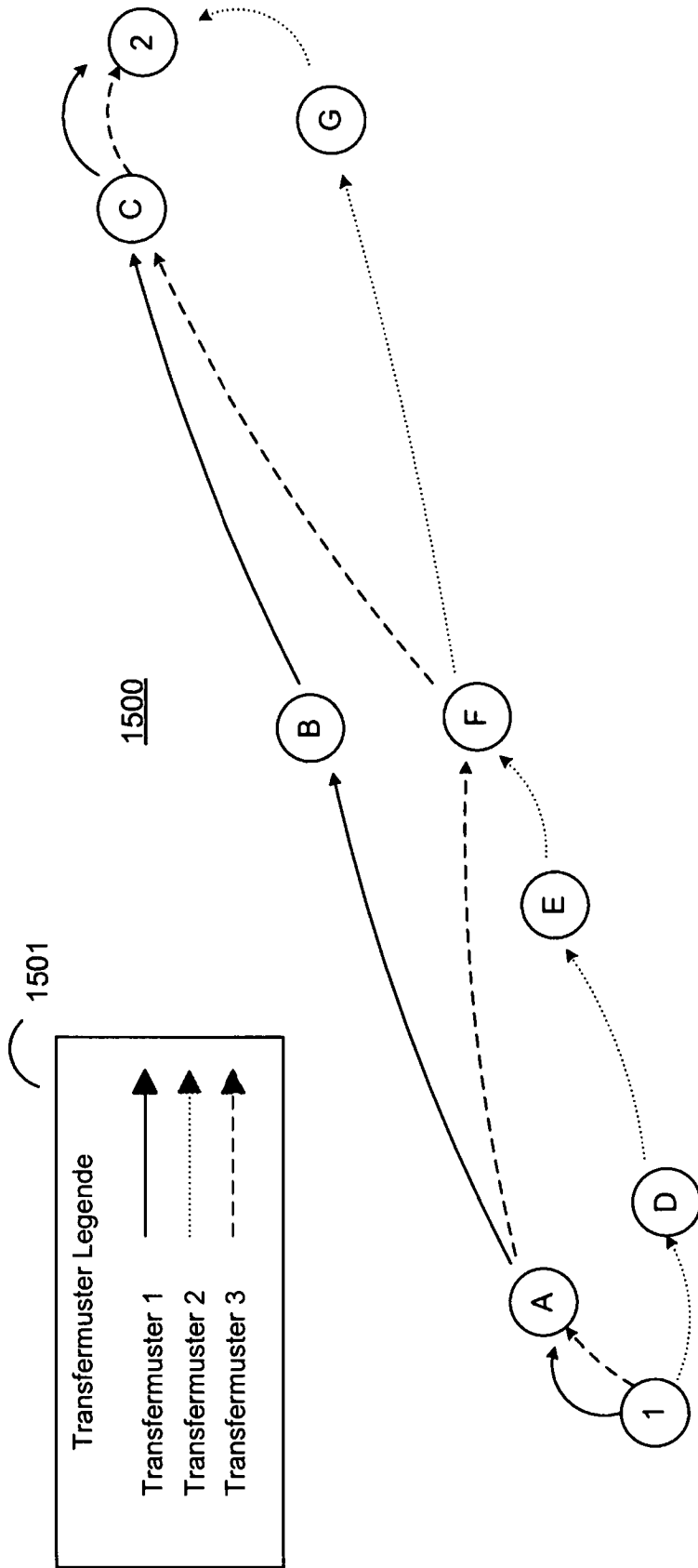


FIG. 15

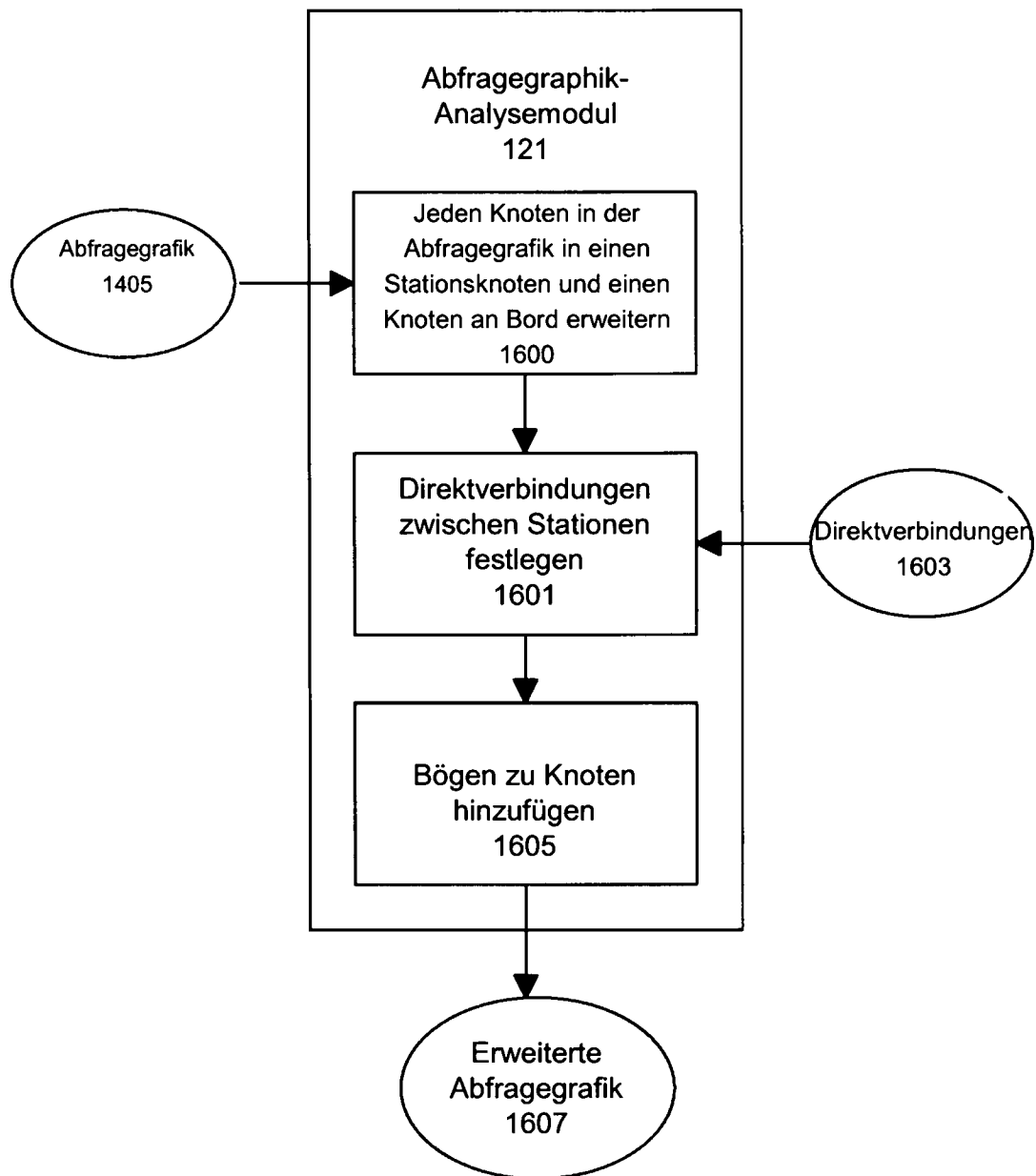


FIG. 16

1700

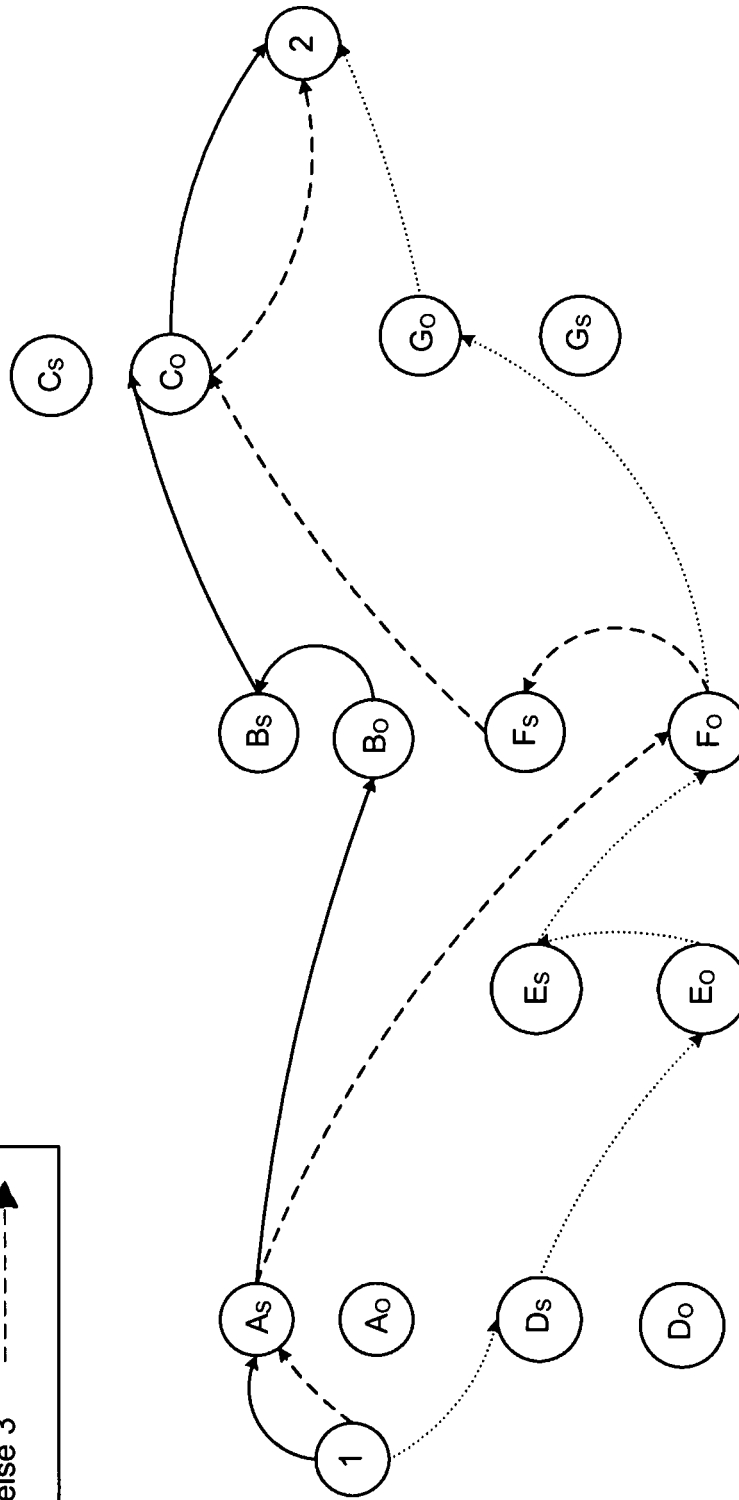
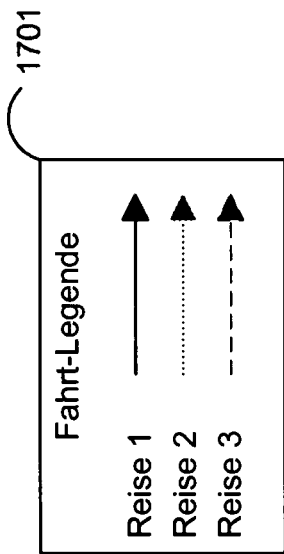


FIG. 17

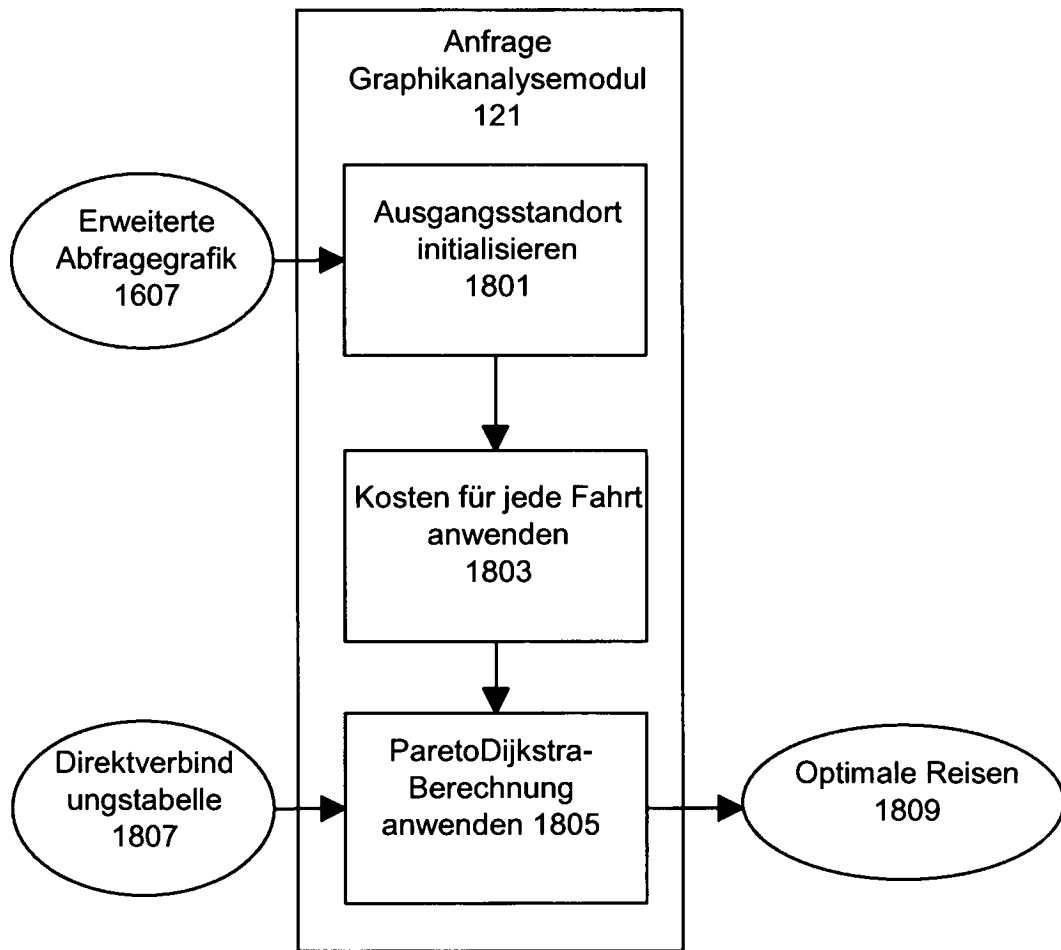


FIG. 18

1900

Wegbeschreib Meine

1901

- 801 California St, Mt. View CA
- 555 California Street, San Francisco, CA

1903

Routenvorschläge- Optionen

08:51 - 10:23 Uhr	1 Std. 35 Min.
9:21 - 10:56 Uhr	1 Std. 35 Min.
9:51 - 11:25 Uhr	1 Std. 34 Min.

1905

801 California St
Mountain View, CA 94041

\$7.50 (gegenüber \$22.64)

Fahrt 1 anzeigen Fahrzeit: etwa 1 Std., 32 Min.

Zu Fuß zu Mountain View Caltrain
in 8 Min.

1907

Bahn - Eingeschränkt - 233 - Richtung: Tamien

Liniendienst von Caltrain

8:50 Uhr	Abfahrt Mountain View Caltrain
10:02 Uhr	Ankunft San Francisco Caltrain

Bus - 10 - Townsend - Richtung: Van Ness & North

7 Minuten für den Transfer

10:00 Uhr	Abfahrt Townsend St & 4th St
10:20 Uhr	Ankunft Sansome St & California

Zu Fuß zur 555 California St
in 4 Min.

1909

FIG. 19